

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

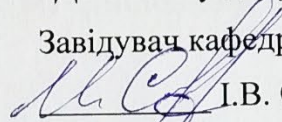
Зварювальний факультет

Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»  
УДК 621.493.44

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 І.В. Смирнов

« 7 » 12 2018 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 132 Матеріалознавство

на тему: «Зміцнення штоку бурового насосу плазмовим напиленням»

Виконав:

студент II курсу, групи ЗП-71мп

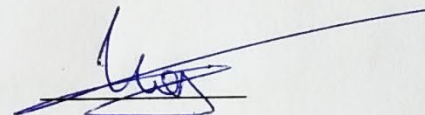
Малюга Володимир Юрійович



Керівник:

Доцент, к.т.н.

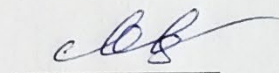
Чорний А.В.



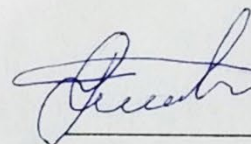
Консультант з охорони праці:

Зав. каф., д.т.н., проф.

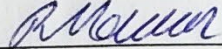
Левченко О.Г.



Рецензент:



Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент 

Київ – 2018 року

### **Анотація**

В магістерській дисертації розглядається питання зміцнення штоку плазмовим напиленням. Оксид титано алюмінієвого покриття, яке має захисні властивості. Вибрано обладнання, та розроблено технологію для проведення технологічного процесу.

Основною метою цієї роботи нанесення оксиду титан алюмінію на што бурового насоса. Для цього ми будемо використовувати плазмову установку Київ-7, джерелом виділення тепла якої є високотемпературний плазмовий потік.

Вданій роботі представленні креслення загального виду установки Київ-7, креслення штоку, плакат технологічного процесу, можливі матеріали.

Для вирішення поставленої задачі був розроблений новий матеріал.

**Ключові слова:** шток, буровий насос, зміцнення, зносостійкість, плазмове напилення

## ANNOTATION

In the master's thesis consideration is given to the problem of strengthening the stem by plasma spraying. Titanium oxide is an aluminum coating that has protective properties. The equipment was selected, and technology was developed for the technological process.

The main purpose of this work is to apply titanium aluminum oxide to a drill pump. To do this, we will use a plasma installation Kiev-7, a source of heat release which is a high-temperature plasma stream.

In the present work, present the drawings of the general type of installation Kiev-7, drawing of the stock, a poster of the technological process, possible materials.

To solve the problem, a new material was developed.

KEY WORDS: drill pump stem, hardening, wear resistance, installation for plasma spraying

## Зміст

Перелік умовних скорочень .....	7
Вступ.....	8
1 Аналітичний огляд .....	10
1.1 Умови роботи та види зношування штоку .....	10
1.2 Перспективність плазмового нанесення покриття .....	11
2 Обладнення, матеріали для отримання зносостійкого покриття.....	15
2.1 Матеріали для отримання зносостійкого покриття .....	16
2.2 Обладнення для нанесення плазмового покриття .....	25
2.3 Методи дослідження властивостей покриттів .....	30
3 Технологічний розділ.....	33
3.1 Технологічний процес нанесення плазмового покриття .....	33
3.2 Властивості отриманих покриттів.....	38
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	46
5 Розробка стартап-проекту .....	53
Висновки .....	59
Список літератури .....	60
Додатки.....	67

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

$P, N$  – величина навантаження;

$\delta, \%$  - відносне видовження;

$\Delta m, \text{мг/мм}^2$  - різниця ваги

КВМ – коефіцієнт використаного матеріалу

## Вступ

Щорічно в світі виходить з ладу тисячі деталей в результаті зносу, корозії, впливу високих температур і механічних навантажень. Руйнуючі навантаження, що впливають на матеріали, пошкоджують переважно поверхню виробів і прилеглі до неї площини. Це зумовлює перспективність зміцнення деталей захисними покриттями, здатними протистояти основним руйнівним факторам.

Для багатьох галузей машинобудування найбільш прогресивним технологічним процесом, що дозволяє значно підвищити надійність, довговічність і якість випущених машин, є газотермічне напилення покриттів. У багатьох випадках працездатність деталі залежить від властивостей поверхні, тому застосування покриттів особливо ефективно через можливість знизити витрату легованих сталей і кольорових металів, роблячи основу деталі з нелегованих марок сталей з нанесенням функціональних шарів. Ця технологія дозволяє також відновлювати втрачені під час експлуатації геометричні розміри і властивості поверхні деталей. Захисні шари металокераміки, кераміки, інтерметалідів з градієнтною структурою товщиною 1 мкм - 1 мм здатні багаторазово підвищити експлуатаційну стійкість деталей та вузлів техніки. Заміна однієї технології зміцнення на іншу призводить до зниження трудомісткості, спрощення виготовлення деталей та зниження їх собівартості.

Деталі машин нафтогазової промисловості працюють у важких умовах дії гідроабразивного середовища. Зокрема, деталі гідравлічної частини насосів, гвинтових конвеєрів тощо, недопрацьовують через недостатню зносостійкість. Тому в нафтогазовому машинобудуванні організовується масовий випуск змінних вузлів і деталей для машин і обладнання. Наприклад, для найбільш відповідальних машин, які відіграють ключову роль у забезпеченні безперебійного процесу буріння, промисловістю випускаються: штоки поршнів, циліндрові втулки, поршні,

ущільнення штока, клапанні вузли тощо. Тому актуальним є не тільки вдосконалення технології виготовлення таких деталей, а й розробка ефективних технологічних способів підвищення їх якості і довговічності. Особливо проблематичними у виготовленні є штоки двосторонньої дії для бурових насосів. Вони швидко виходять з ладу через інтенсивне зношування та вплив поверхнево активних речовин бурового розчину (додаток. 1). На робочій ділянці штока виникають глибокі подряпини і борозенки, що прискорює руйнування манжети та знижує ефективність роботи бурового насоса. Відтак існує проблема ефективного забезпечення зносостійкості таких штоків. Для цього низкою провідних фірм застосовується комплекс заходів підвищення зносостійкості змінних деталей до бурових насосів, що включає підбір високоякісних і високоміцних сталей, точне механічне оброблення, а також найважливіше – сучасні методи зміцнення. [63-65].

Зокрема, фірма “National” для зміцнення штоків насосів двосторонньої дії використовує газополум’яне напилення хромоборнікелевим сплавом з наступним точним поліруванням, отримуючи на робочих поверхнях твердість HRC60. Фірма “Oilwell” використовує для зміцнення штоків газополум’яне напилення з оплавленням покриття на основі нікелю.

Мета роботи полягає в розробці технології зміцнення деталей плазмовим напиленням керамічних покриттів.

Для вирішення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- обрати обладнання для ділянки плазмового напилення;
- дослідження структури і властивостей керамічних покриттів;
- визначити основні заходи з охорони праці;
- розробка стартап роекту

# **1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД**

## **1.1 Умови роботи та види зношування штоку**

Економічна ефективність процесу зміцнення або відновлення деталей визначається потребою промислових підприємств в цих деталях, їх вартістю і підвищенням стійкості обладнання після модифікуючої обробки. Оскільки бурова техніка на світовому ринку користується великим попитом і всі деталі бурового обладнання є дорогими, а питання зміцнення таких деталей - недостатньо вивченим, то цю тематику слід вважати актуальною; інноваційні проекти можна реалізовувати у вигляді наукових розробок і готових технологій.

У даній роботі в якості базової деталі обраний шток бурового насоса (додаток 1). Такі насоси працюють при високих температурах і в умовах вічної мерзлоти. У номенклатурі деталей бурової техніки штоки є найбільш потрібні, час роботи цих деталей не перевищує 150 - 200 годин. Умови експлуатації штока наступні: корозійне руйнування, гідроабразивний знос при вмісті піску в пульпі 0,7 - 1,5%, температурі 80 С і тиску 15 МПа а також ударні навантаження, наслідком якого є руйнування поверхневого шару. Для підвищення терміну роботи деталі необхідно зміцнювати робочу поверхню захисними покриттями.



## 1.2 Перспективність плазмового нанесення покриття

Доцільність використання того чи іншого способу нанесення покриттів повинно визначатися в залежності від експлуатаційних вимог до деталі, вимог до надійності та ресурсу роботи виробу, нанесення покриттів з урахуванням необхідного обладнання, газів і матеріалів, які розпилюються. Нанесення захисних покриттів напиленням, проводиться наступними способами: газополуменеве напилення; детонаційне напилення; електродугова напилення, плазмове напилення.

Газополуменевий спосіб. Газополуменевий спосіб має обмеження за температурою матеріалу, з якого формується покриття, забезпечують для своєї номенклатури матеріалів КВМ, міцність зчеплення до 50МПа, пористість 5...25%, максимальна температура напилюючих часток до 3000К, швидкість напилюючих часток 20...180м/с, в якості джерел теплоти використовується полум'я різних газів і їх сумішей.

Переваги:

- можливістю отримання покриттів товщиною до 10 мм (доцільн товщина від 0,5 до 5,0 мм);
- високою продуктивністю процесу (до 10 кг/год);
- відносно малою тепловою дією на основу (у межах 150...350°C), що дозволяє наносити покриття на поверхні великого асортименту матеріалів, включаючи пластмасу;
- можливістю регулювання складу пальної суміші, яка подається у пальник;
- гнучкістю технологічного процесу та високою мобільністю обладнання, що дозволяє наносити покриття на деталі практично без обмежень їх розмірів, а в деяких випадках виконувати напилення на місці без демонтажу деталей;
- відносно низьким рівнем шуму та випромінювання;
- можливістю автоматизації процесу та встановлення в автоматичні лінії

.Недоліки:

- недостатня міцність зчеплення покриття з основою (5...45 МПа) при випробуванні на нормальний відрив;
- наявність пористості (в межах 5...25%);
- невисокий коефіцієнт використання енергії газополуменевого струменя на нагрівання порошкового матеріалу (2...12%).

Детонаційне при детонаційному методі немає необхідності в повному розплавлюванні матеріалу, який наноситься. Сполучення дії тепла, що виділяється при ударі, високого тиску і високої швидкості деформації матеріалу забезпечують одержання монолітного шару, що кристалізується в стабільній системі. Таким чином, метод детонаційного нанесення, по суті, - єдиний спосіб одержання на металах твердосплавних покритті, що по властивостях мало відрізняються від властивостей спечених твердих сплавів

#### Переваги:

- помірне нагрівання поверхні виробу, що покривається, (не вище 250 °C);
- можливість одержання покритті з підвищеною міцністю зчеплення і щільністю завдяки високій кінетичній енергії часток матеріалу, що напиллюється ;
- можливість нанесення міцно зчеплених покритті на деякі види підкладок (сталь, нікелеві сплави й ін.) без струменеві-абразивної підготовки поверхні;
- відносна простота конструкції установки.

#### Недоліки:

- високий рівень шуму (125...140 дБ) і інші шкідливі впливи вимагають ізоляції зони обробки;
- технологічні обмеження на обробку нежорстких деталей, викликані високими імпульсними тисками при впливі продуктів детонації на підкладку;
- обмеження по твердості напиллюємої поверхні (не вище 60 HRC)

## Плазмове напилення

Низькотемпературна плазма - це потік іонізованого газу ( $T = 6000 - 10000$  °C і швидкість  $500 - 3000$  м/с), який формується в спеціальному генераторі - плазмотроні. Плазмовий потік дозволяє миттєво нагрівати частинки будь-якого матеріалу (керамічного, металокерамічного, полімерного, металополімерного, керамополімерного) дисперсністю  $10 - 100$  мкм і розганяти їх до швидкостей  $200 - 500$  м / с [40-47]. Ці переваги є визначальними при виборі методу газотермічного напилення (плазмового, газопламенного, детонаційного, металізації). Газополуменевий метод має обмеження, як за швидкістю подачі порошку, так і по температурі. Детонаційний метод забезпечує високі швидкості транспортування частинок, проте характеризується обмеженнями по температурі. Металізація поступається плазмовим методам по номенклатурі напилюваних матеріалів. З цих позицій плазмові технології є унікальними. В залежності від вимог до покриття і деталі, на які воно наноситься, доцільно використовувати або плазмове напилення, або плазмову наплавку.

Плазмове напилення дозволяє наносити покриття з мінімальним припуском на обробку (точність по товщині покриття до  $0,05$  мм) і мінімальним нагріванням основи (до  $150 - 300$  °C), що виключає термічні зміни деталі, при цьому забезпечується висока адгезійна міцність покриттів з основним матеріалом. Зазвичай товщина напилених покриттів не перевищує  $1$  мм, так як зі збільшенням товщини зростають внутрішні напруження в покритті. Покриття більшої товщини можна напилювати, застосовуючи проміжний термічний відпустку.

Суттєвими перевагами плазмового напилення є висока продуктивність процесу (до  $4$  кг/год), швидкість переміщення плазмотрона щодо напилюваної поверхні до  $5$  см/с і його висока технологічність (на відміну від наплавлення процес не чутливий до точності дистанції напилювання).

До недоліків плазмового напилення керамічних покриттів можна віднести наступні: не у всіх випадках забезпечується необхідний рівень міцності зчеплення покриттів з підкладкою (10 - 150 МПа при випробуваннях на нормальний відрив); наявність пористості (зазвичай в межах 7 - 15%).

Нижче наведені приклади використання плазмових покриттів:

- отримання теплозахисних покриттів на основі кераміки з діоксиду цирконію для деталей ГТД, двигунів внутрішнього згоряння, ливарних форм і інших високотемпературних призначень [48];
- нанесення антикорозійного покриття (наприклад, з алюмінію) на різні деталі;
- відновлення розмірів деталей в ремонтних роботах (наприклад, деталі підшипникового виробництва (шпинделі бесцентровошліфувальних верстатів; вали; посадочні місця під підшипники,); деталі автомобілів (шийки колінчастих, розподільних і ін. валів; плунжера; втулки-шестерні коробки передач); деталі залізничного транспорту, [49]; деталі печі, [50];
- електроізоляційні покриття з кераміки;
- лопатки турбогенераторів, вентиляторів димососів;

Зокрема, фірма “National” для зміцнення штоків насосів двосторонньої дії використовує газополум’яне напилення хромоборнікелевим сплавом з наступним точним поліруванням, отримуючи на робочих поверхнях твердість HRC60. Фірма “Oilwell” використовує для зміцнення штоків газополуменеве напилення з оплавленням покриття на основі нікелю. Фірма „Harrisburg” для виготовлення штока використовує поковки з високоякісної легованої сталі. Для зміцнення використовується гартування струмами високої частоти, багатoelementне покриття, напилення (процес Colmonoy Spray) тонкого порошку Colmonoy з отриманням гладкої поверхні твердістю HRC60-62. Фінішними операціями є прецизійна механічна обробка і поверхнєве шліфування до чистоти суперфінішу. Є також варіант заміни сплаву

Colmonoy на цементацию та азотування поверхневого шару в електропечі на твердість HRC60 з наступним суперфінішуванням. Фірма „Reed American” для виготовлення штоків використовує сталь з мінімальною схильністю до утворення волосовин і розшарування. Для зміцнення здійснюється нанесення порошку нікельхромового сплаву на термооброблену заготовку і наплавлення при 1090 °C з остаточним шліфуванням до дзеркального блиску. Фірма “TRW Mission” для штоків використовує леговані сталі. Для зміцнення штоків Supreme наносять покриття сплавом нікель-хром-бор у вигляді порошку з наступною механічною обробкою як для штоків фірми „Harrisburg”. Для зміцнення штока Super Service використовують індукційне гартування на глибину 1,5 мм при ретельному контролі процесу. Одержують необхідну твердість HRC 59 [63]. Низка зарубіжних фірм широко використовує хромування штоків виготовлених з легованої середньовуглецевої сталі, наприклад, фірма „Ostroj” [64] здійснює хромування штоків на 20-80 мкм у відповідності до вимог Німецького інституту стандартів (згідно DIN8556), для забезпечення твердості до HV1100. Фінішною операцією поліруванням добиваються шорсткості поверхні до Ra.0,4мкм. Відома індустріальна група „Parker Hannifin European” [65] виготовляє шток поршня з вуглецевих легованих сталей, що мають високі показники границі міцності до розриву. Штоки хромують і полірують з дотриманням високої точності. Перед хромуванням здійснюють зміцнення за допомогою СВЧ добиваючись мінімальної поверхневої твердості HRC54.

## 2 ОБЛАДНЕННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ

## 2.1 Матеріали для отримання зносостійкого покриття

Аналіз літературних даних показав, що інформація по зміцненню і відновленню деталей бурового устаткування обмежена. Виходячи з того що існує технологія зміцнення таких деталей металокерамічним покриттями (з порошків самофлюсуючі сплавів з зміцнюючі тугоплавкими компонентами) [39], можна лише відзначити, що такі матеріали відрізняються високою вартістю і їх застосування вимагає додаткової операції - оплавлення.

В даному розділі наведено аналіз методів, технологій і матеріалів(оксидних композитів), використовуваних в техніці газотермічного напилення. Вибір матеріалів для створення композиційних порошків і захисних покриттів з них визначається поєднанням таких властивостей, як зносостійкість, стійкість до впливу агресивних середовищ, ударних навантажень і високих температур, а також огляд технологій виготовлення деталі для підвищення терміну роботи.

З різних класів керамічних матеріалів (карбідів, боридів, нітридів, оксидів) в даній роботі використовували оксиди, так як саме оксиди характеризуються оптимальним набором властивостей для створення багатофункціональних композитів. До таких властивостей можна віднести термодинамічну стійкість, яка тим вище, чим більше вільна енергія Гіббса (для оксидів ця величина в 1, 5 - 2 рази вище, ніж для карбідів, боридів, нітридів [4]), досить високу температуру плавлення, мінімальну розчинність в розплавах сплавів інтерметалідної матриці.

Значні температурні градієнти, спровоковані процесами нанесення покриттів, є причиною формування метастабільних кристалічних і аморфних фаз, суттєво впливають на адгезійну міцність напилених шарів найважливіша властивість, що визначає стійкість захисних покриттів до впливу ударних навантажень.

Аналіз експериментів, відомих з літературних досліджень показують, що процес з'єднання оксидної кераміки з металом є, як правило, більш легко здійснюваним в енергетичному плані, ніж процес з'єднання чистих оксидів з металами і залежить від наступних параметрів.

Ступінь аморфизації кераміки.

Так, експерименти зі зварювання кераміки [5], що складається з 13%  $\text{SiO}_2$ , 1,65%,  $\text{CaO}$ , 0,2%  $\text{Na}_2\text{O}$  (із загальним вмістом склофазы 20 - 25%) і кераміки, що не містить аморфну фазу, з титаном, свідчать про більш високу міцності з'єднання в першому випадку.

Склад аморфної фази.

У рівних умовах більше швидкість текучості має кераміка, порівняно з  $\text{SiO}_2$  оксид алюмінію [5-6]. При високих температурах оксид алюмінію і кремнезем утворюють евтектику, в результаті чого збільшується кількість аморфної складової композиції.

Мікроструктура кераміки (розмір зерен; розподіл аморфної фази: в моношарах, в матеріалі матриці, у включеннях). Відомо [6-7], що зі зменшенням розмірів зерен кераміки міцність з'єднання з металами істотно зростає. Композиції, які мають у своїй структурі аморфізуючі фази при напиленні, цікаві при створенні покриттів різного призначення, які вирізняються високими властивостями міцності.

Умови експлуатації сучасної техніки вимагають нових рішень в плані використання композиційних матеріалів і оригінальних методів формування покриттів, так як створення універсальних напилених шарів, стійких до впливу декількох видів навантажень, являє собою важко здійсненне завдання.

З останніх технологічних розробок необхідно відзначити наступні:

- синтез багатокомпонентних матеріалів ( $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{B}_3$  -  $\text{BaO}$ ) в високочастотній індукційній плазмі у вигляді частинок розміром до 500 нм [8], проводиться за механізмом випаровування-конденсація і дозволяє отримувати порошок з однорідним хімічним і фазовим складом;

- отримання якісних покриттів з міді і нержавіючої сталі товщиною близько 100 мкм на металевих підкладках за допомогою високошвидкісного плазмового потоку, створюваного гібридним магнітоплазмовим прискорювачем [9]. Метод забезпечує надглибке проникнення в підкладку не окремих частинок, а кумулятивних струменів на глибину впровадження;

- мікроплазмова технологія, запропонована компанією Microplasmic Corporation (США) і застосована для захисту поверхні деталей оксидними матеріалами ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{CaO}$ ), що дозволяє формувати покриття на виробках практично без зміни їх розмірів [10]. Нова технологія може бути використана для алюмінієвих сплавів будь-якого складу і для нанесення твердого покриття на внутрішні поверхні циліндричних, конічних або сферичних порожнистих виробів; дозволяє отримувати керамічні покриття високої міцності і великої товщини, що створює можливість заміни важких металевих сплавів або дорогих композитних матеріалів;

- формування поліоксидних структур на поверхні твердого сплаву ВК8 при високотемпературному окисленні імпульсною лазерною обробкою [11]. Зносостійкість твердих сплавів, зміцнених поліоксидами, збільшується на 15 - 30% при обробці хромонікелевої сталі.

Розглядаючи напрямки розвитку матеріалознавства, слід зазначити що, велика увага приділяється аморфному і наноструктурному стану композиційних матеріалів, що пояснюється унікальним поєднанням їх властивостей. В останнє десятиліття отримані найрізноманітніші структури полікристалічних сплавів, зміцнених наночастінками карбідів, нітридів, інтерметалідів та ін.. ; металеві аморфні сплави таких систем як  $\text{Cu}$  -  $\text{Zr}$  -  $\text{Ti}$ ,  $\text{Ti}$  -  $\text{Ni}$  -  $\text{Zr}$  -  $\text{Cu}$ ,  $\text{Nd}$  -  $\text{Fe}$  -  $\text{Al}$ ,  $\text{Pd}$  -  $\text{Cu}$  -  $\text{Si}$ ,  $\text{Pr}$  -  $\text{Fe}$  -  $\text{Al}$ , сплави на основі заліза, цирконію, молібдену, вольфраму, хрому, марганцю, ренію та ін. ; сплави заліза з неметалами ( $\text{B}$ ,  $\text{Si}$ ) [12-15]. Серед оксидних матеріалів найбільшою популярністю користуються захисні покриття типу  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ .



Запропоновано нові склади сіталової скломатриці для жаростійких покриттів [16], скломатриці для виготовлення медичних імплантатів [17] на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ , керамічних мембран з селективними шарами на основі  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  [18].

При плазмовому напиленні порошків, особливо багатокомпонентних, ініціюються складні неврівноважені процеси, вивчення яких вимагає використання великої кількості додаткового обладнання і значних затрат ресурсів. У зв'язку з цим, а також через відсутність літературних даних про фазові перетворення в потрібних оксидних композиціях, напилення захисних покриттів з оксидної кераміки ведуть в основному з двокомпонентних оксидних систем, серед яких можна виділити наступні

Матеріали на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [19-23].

Переважає це композиція з  $\text{TiO}_2$ , в яких функціональне призначення оксиду алюмінію полягає в забезпеченні підвищеної зносостійкості покриттів, діоксиду титану в забезпеченні адгезійної міцності напиляного покриття до основного металу. Композиції такого складу отримують в основному запікання з оксидів та подальшим дробленням (Порошки марки ОТ фірми «Метко») або шляхом плакування діоксиду титану гідроксидом алюмінію з розчинів (рекомендації ІПМ, г. Київ по виготовлення порошків і фірми Plasmadyne з нанесення покриттів, які використовують для зміцнення пар тертя, що працюють в умовах високих контактних навантажень і агресивних середовищ). Існує інтерес до систем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , хоча в практиці газотермічного напилення ці композити поки не знайшли широкого застосування.

Матеріали, що містять  $\text{TiO}_2$  [23-25].

Основними зарубіжними виробниками порошку  $\text{TiO}_2$  для напилення є фірми Metco Ltd, Nihon Abrasion Ltd, Lonza-Werke. Покриття з  $\text{TiO}_2$ , нанесені газотермічними методами, використовують в електронній, оборонній промисловості.

Матеріали на основі  $\text{ZrO}_2$  [26-31].

Головним чином це композиційний, стабілізований  $Y_2O_3$ . Для стабілізації кубічної модифікації діоксиду цирконію використовують також оксиди кальцію, магнію, ітрію, що утворюють з  $ZrO_2$  тверді розчини. Плазмові і детонаційні покриття  $ZrO_2 - Y_2O_3$ ,  $ZrO_2 - Al_2O_3$ ,  $ZrO_2 - TiO_2$ ,  $ZrO_2 - Fe_2O_3 - Y_2O_3$ ,  $ZrO_2 - NiO - Y_2O_3$ ,  $ZrO_2 - Y_2O_3 - Bi_2O_3$ ,  $ZrO_2 - CeO_2$  є основними зміцнюючим матеріалом в авіаційній промисловості та космічній техніці.

Авторам [29] запропонований метод синтезу з розчину композиції  $ZrO_2 - Y_2O_3$  у вигляді наночастинок. В роботі [31] представлені результати досліджень ультрадисперсних порошків  $ZrO_2$  (синтезованих плазмохімічним методом) з частками у вигляді порожніх сфер. Досить широко використовуються покриття на основі циркону [30, 32] і суміші  $Al_2O_3$  з  $ZrSiO_4$  в співвідношенні 1 : 1, з яких в процесі плазмового напилення формуються термостійкі покриття з високою твердістю.

Матеріали, що містять  $SiO_2$ .

Діелектричні шари на основі діоксиду кремнію знаходять все більше застосування в якості ізолюючого та конструкційного матеріалу при виробництві структур кремній-на-ізоляторі, інтегральних схем і ін. виробів електронної техніки [8, 30].

Загальний недолік цитованих робіт по оксидним системам для газотермічного напилення - використання, як правило, відомих композиційних порошків, які не вирізняються високими адгезійними властивостями і багатофункціональністю.

Авторами [33-37] розроблені плазмові керамічні покриття, що не руйнуються при одночасному впливом зносу, корозії, високих температур (до  $2000^\circ C$ ), ударних навантажень.

Відтак існує проблема ефективного забезпечення зносостійкості таких штоків. Для цього низка провідних фірм застосовується комплекс заходів підвищення зносостійкості змінних деталей до бурових насосів, що

включає підбір високоякісних і високоміцних сталей, точне механічне оброблення, а також найважливіше – сучасні методи зміцнення

Таким чином, необхідно вирішити проблему підвищення стійкості штоків щодо базових і вибрати матеріал, що не вимагає оплавлення. Крім того, оскільки шток експлуатується при впливі ударних навантажень і агресивних середовищ, потрібно забезпечити високу адгезійну міцність покриття і мінімальну пористість, тобто позбутися від основних вищевказаних недоліків, властивих керамічним покриттям. Такі матеріали описані в роботах [33-37].

Захисні покриття наносять на поверхню нових (процес зміцнення) або зношених (процес відновлення) деталей з метою підвищення їх експлуатаційної стійкості. Процес складається з двох стадій: спочатку напилують підшарок, потім - основний шар. Проміжний шар з адгезійного-активного матеріалу утворює міцний зв'язок як з матеріалом виробу, так і з матеріалом покриття. При напиленні покриттів, що мають велику різницю коефіцієнтів термічного і лінійного розширення (к.т.л.р) і при роботі деталі в умовах змінних температур також необхідно напилення проміжного шару з к.т.л.р., проміжним між к.т.л.р. стали і матеріалу покриття [56, 51].

Для оцінки зміни хімічного складу вихідного композиційного порошку в процесі напилення і розподіл УДС в покритті було проведено мікроаналіз на окремих ділянках по перетину покриття, в характеристичний рентгенівському випромінюванні  $TiK\alpha$ ,  $AlK\alpha$ ,  $SiK\alpha$ , результати якого представлені на рисунку. 2.1 і таблиці 2.1.

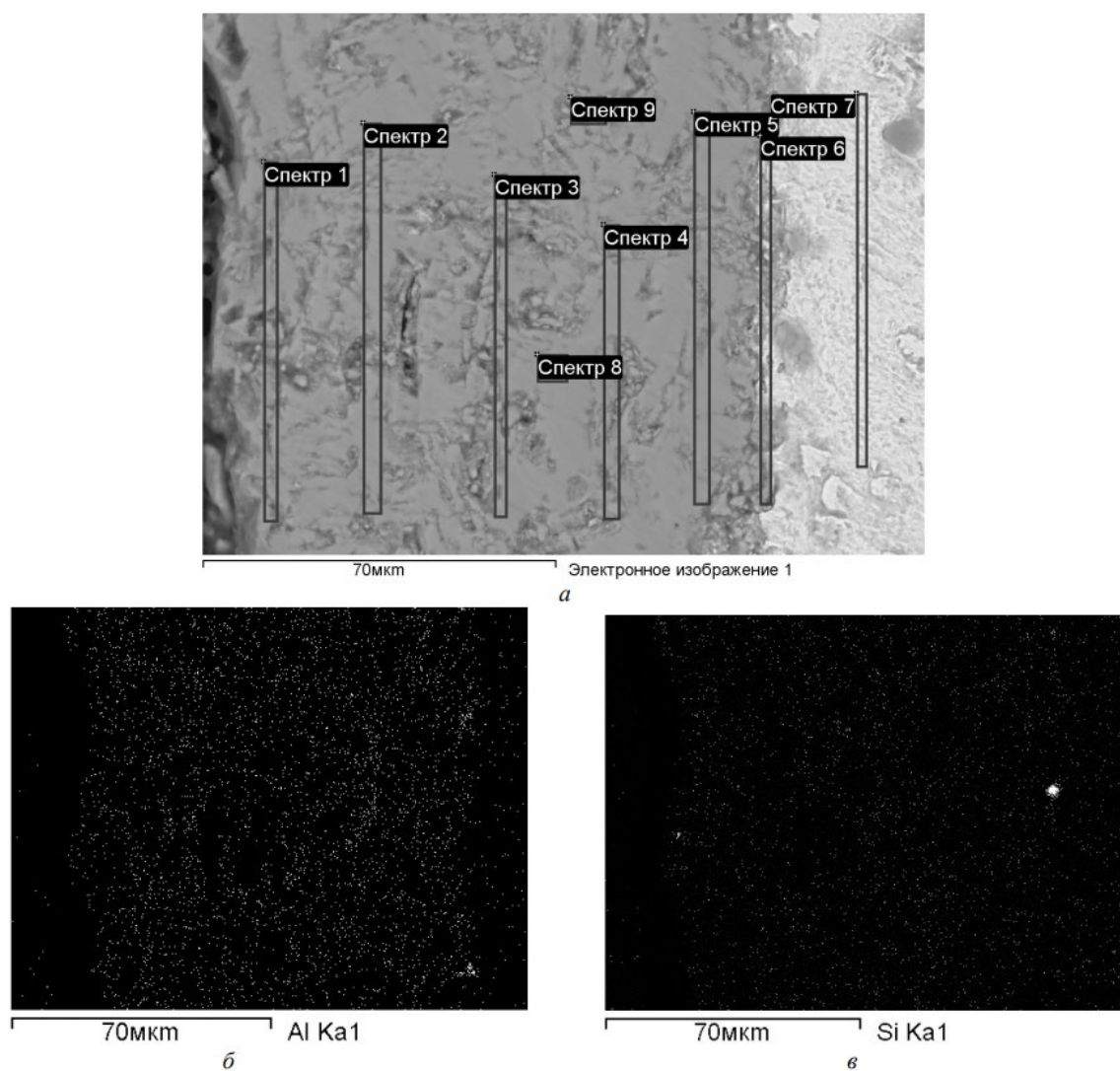


Рисунок 2.1 – Электронное зображення плазмового покриття при напыленні плакованого порошку системы  $\text{TiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  (а) с реєстрацією інтенсивності рентгенівського випромінювання  $\text{AlK}\alpha$  (б) и  $\text{SiK}\alpha$ (в).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад плазмового покриття при напиленні порошку системи  $\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}$

Спектр	C,%	O,%	Al,%	Si,%	Ti,%	Mn,%	Fe,%	Всього
Спектр 1	15,58	38,06	0,86	0,30	44,92		0,28	100.00
Спектр 2	7,11	42,29	1,21		48,81		0,57	100.00
Спектр 3	13,65	36,50	0,87	0,44	47,43		1,11	100.00
Спектр 4	8,24	42,95	1,24	0,44	45,96		1,16	100.00
Спектр 5	5,61	43,35	1,10	0,29	48,88		0,76	100.00
Спектр 6	19,76	29,21	0,63	0,45	8,76	0,29	40,90	100.00
Спектр 7	16,68					0,93	82,39	100.00
Спектр 8	2,61	44,07	1,43	0,41	51,47			100.00
Спектр 9	10,16	41,16	1,57	0,37	44,83		1,91	100.00

Аналізуючи наведені результати таблиці, приведеної вище, можна зробити висновок про наявність і рівномірний розподіл УДС по всьому перетину покриття на основі оксиду титану. Це пояснюється тим, що ультрадисперсні оксиди в розпилюваній суміші, перебуваючи в активованому стані, приєднуються до інших елементів, що входять до складу порошку, утворюючи тим самим фізичні зв'язки між окремими компонентами покриття. Більш того, підвищена активність аеросилі проявляється внаслідок розкладання і руйнування, щеплених гідридних груп і утворення вільних зв'язків при високих температурах в умовах плазмового напилення; відбувається додаткова активація поверхні частинок, і як наслідок, можлива реалізація хімічної взаємодії між аеросилі і іншими елементами покриття.

Дослідження міцносних властивостей зразків з різними видами плазмових покриттів проводили по стандартною методикою трьохточкового вигину. Отримані в результаті криві навантаження-вигину приведені на рисунку. 2.2.

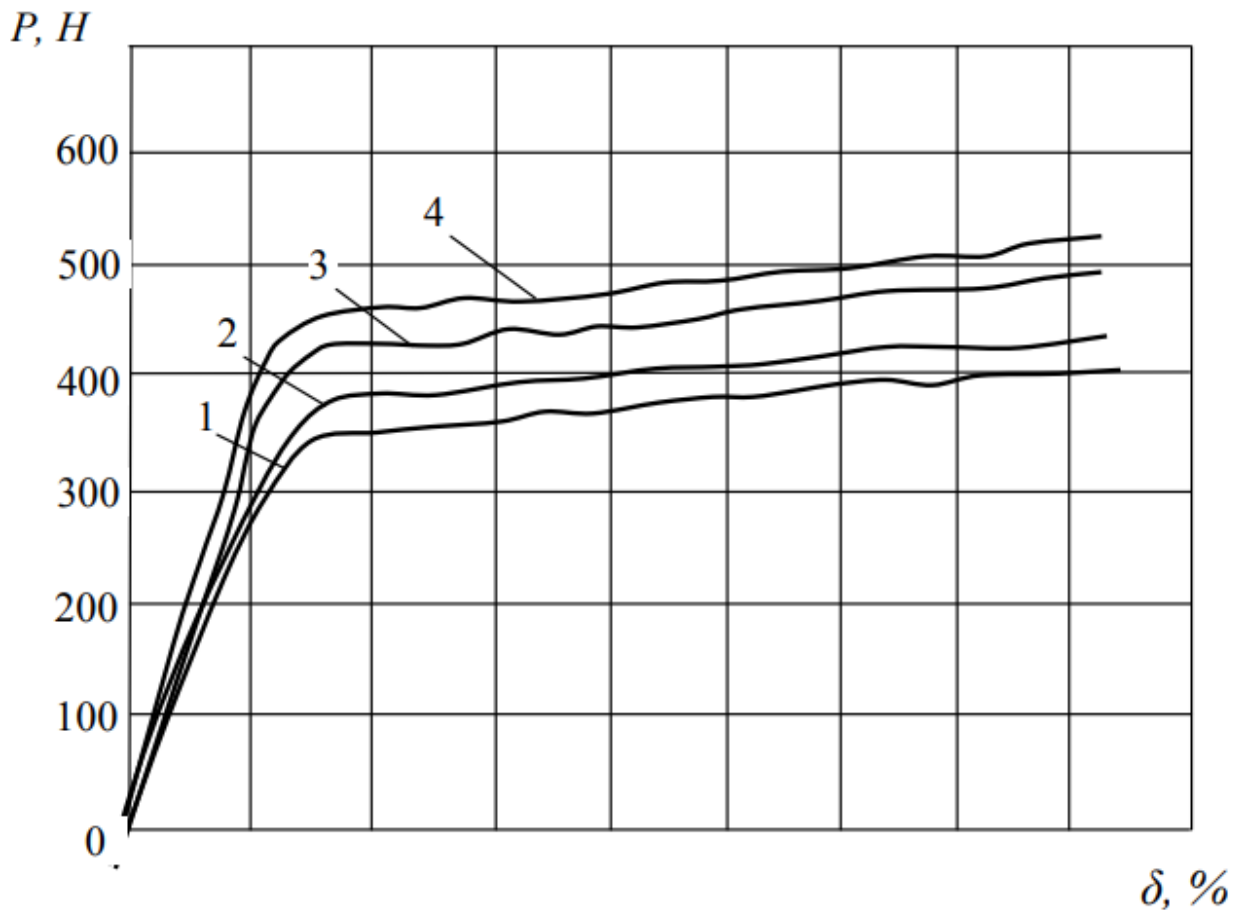


Рисунок.2.2 – Криві навантаження-вигину сталевих зразків (Ст 3) 1–без покриття ; з покриттями отриманими плазмовим напиленням порошку: 2 -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 3 – плакованого  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 4 - плакованого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  з ультрадисперсними частинками  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$

З отриманих даних випливає висновок, що майже всі покриття призводять до зміцнення основи, особливо на основі плакованих порошків, для яких характерне розтріскування без відшаровування покриття, що свідчить про високу міцності зчеплення з основою за рахунок металевої складової. Для покриттів що додатково містять ультрадисперсні частинки спостерігається максимальне зміцнення, що пов'язано з ефектом гальмування розвитку тріщин в разі їх виникнення.

Матеріал проміжного шару вибирається залежно від матеріалів деталі і покриття, умов експлуатації деталі. Товщина його складає 0,05- 0,20 мм.

Далі напилюють матеріал основного шару покриття.

Таблиця 2.2 – Характеристики напилюваних порошків

Назва	Властивості порошків		
	Склад	$T_{пл} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Твердість, мікротвердість
Порошок марки ПН85Ю15М	Ni - 13,5Al	1380	20 HRC
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> - SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> – 30%; SiO <sub>2</sub> – 12%; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 58%	2200	H <sub>μ</sub> = 779 - 1100 кг/мм <sup>2</sup>

Виходячи з інформації представленої вище можна зробити висновок, що при використанні для плазмового напилення плакованих керамічних порошків з оболонками з таких металів як титан, алюміній, сприяє формуванню щільного покриття з рівномірним розподілом модифікують компонентів. При введенні в дані композиції ультродисперсних частинок оксидів TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> формуються зносостійкі покриття з високою когезионною і адгезійною міцністю.

## 2.2 Обладнення для нанесення плазмового покриття

Для вирішення завдань, сформульованих в даній роботі, був обраний плазмовий метод, так як висока температура плазми і швидкість передачі тепла дозволяють ефективно нагрівати напилюваний порошок будь-якого складу. При цьому енергетичні параметри плазмового потоку можна регулювати в широких межах залежно від особливостей процесу [51].

Будь – яка установка для газотермічного нанесення покриття складається з розпилювача, механізму подачі матеріалу, який розпилюється (дроту, порошку, стержнів або гнучкого шнура), джерела енергопостачання, системи що подає розпилюючий газ, пульта керування. На рисинку. 2.3

наведена функціональна схема узагальненої установки для газотермічного нанесення покриття.

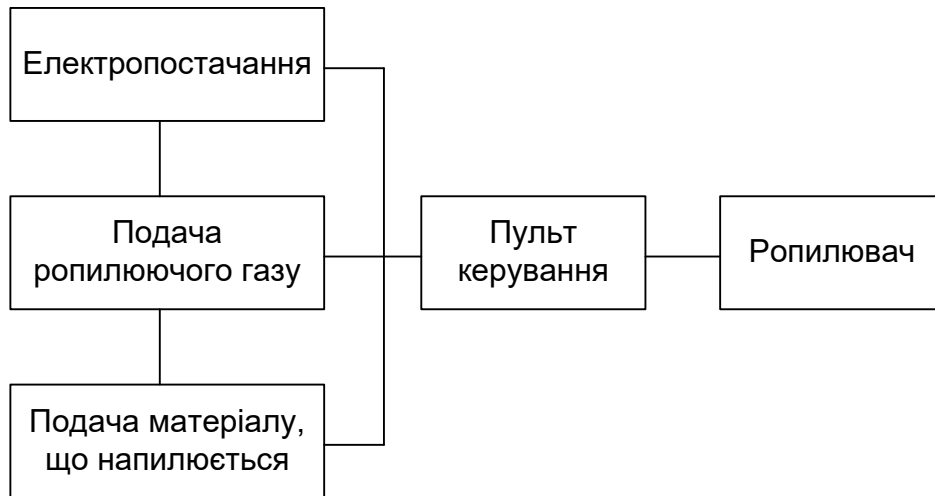


Рисунок 2.3 – Функціональна схема установки для напилення [11]

Для організації нанесення покриттів різного призначення на зовнішній поверхні деталі в умовах дрібносерійного та ремонтного виробництва використовують напівавтомати камерного типу. Ці напівавтомати складаються з камери напилення з механізму кріплення, переміщення деталі та плазмової установки. У промисловості отримали розповсюдження установки для плазмово дугового напилення. У склад таких установок входить плазмотрон, джерело живлення електричного струму, пульт керування з контрольно-вимірювальними та регулюючими приладами, пристрої для підпалювання дуги, порошковий живильник, або система подачі дроту, система газопостачання, водяного охолодження, системи блокування у разі аварійних ситуацій.

Також, необхідно підібрати обладнання, яке забезпечить отримання якісного зносостійкого (присутність тугоплавких речовин в матеріалі, що напилюється) покриття. А також, щоб була можливість одночасного оплавлення зносостійкого покриття. Також, необхідно вибрати допоміжне обладнання (для закріплення і обертання деталі, що напилюється). Необхідно передбачити можливість обладнання працювати на технологічних параметрах процесу, що були рекомендовані вище для напилення вибраного порошку.

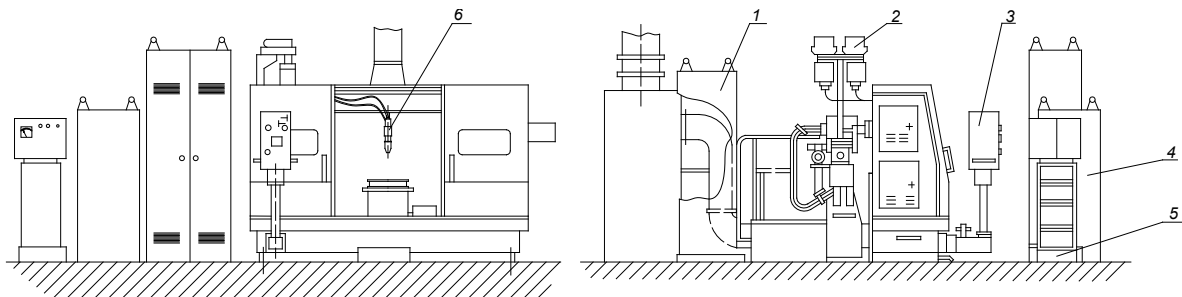


У промисловості застосовується три типи комплексів обладнання на базі серійних установок плазмового нанесення покриттів: УМП, УПУ, "Київ" різних модифікацій. Установки типу "Київ-7" розроблена і випускається в Україні.

Таким чином, виходячи із вище сказаного обираємо в якості основного обладнання - установку Київ - 7. Ця установка, якраз й призначена для відновлення штоків. Вона комплектується напівавтоматом 15В-Б, тобто готове допоміжне обладнання, а також в камера напівавтомата 15В-Б захищає оператора від шкідливого випромінювання, захист від шуму, вентиляція тощо.

Технічні характеристики установки Київ -7 та напівавтомату 15В-Б (рис. 2.4) наведено в табл. 2.3, 2.4 [11].

Установка Київ-7 складається з: джерела живлення (АПР-402); блока керування; Розпилювача (ПУН-1); блока подавання порошкових матеріалів; блока автономного охолодження. Також установка комплектується напівавтоматом 15В-Б.



1-шафа керування; 2-блок подавання порошків; 3-пульт керування; 4-блок електроживлення; 5-блок керування.

Рисунок 2.4 – Загальний вигляд напівавтомата моделі 15В-Б:

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики напівавтомату 15В-Б [11]

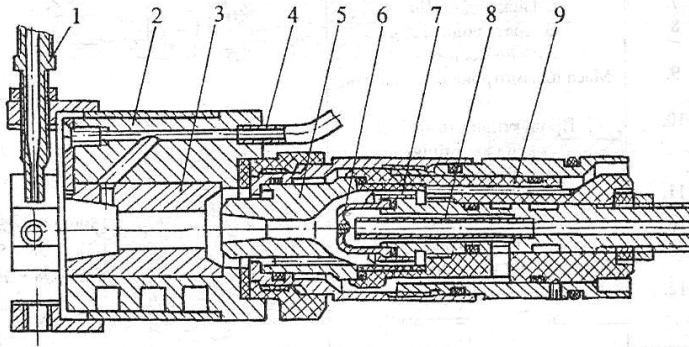
Розмір деталей (циліндричних), мм		Маса деталі, кг	Швидкість переміщення плазмотрону, м/с		Частота обертання шпинделя, об/хв	Габарити напівавто- мата, мм	Маса напів- автомата, кг
довжина	діаметр		Уздо- вж осі шпи- н- деля	По- перек осі шпинд- еля			
63 - 1500	20 - 320	до 100	0,002 -0,1	0,004- 0,18	22,5-500	3850x590 0x2500	4200

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики установки Київ -7 [11]

Продуктив- ність (Ме порошок)	Робочий газ	Потуж- ність, кВт	Витрати плазмоутв. газу, м³/год	Тиск, МПа	Маса установки, кг
до 25	Суміш повітря з природним газом або пропан- бутаном	80	Повітря – 3,9-12 Природного газу - 0,1-2	Повітря – 0,5-0,6 Природног о газу – 0,2- 0,3	1150

Розпилювач. Установка «Київ-7» комплектується плазмотроном моделі ПУН-1 (креслення загального вигляду установки для плазмового напилення, поз.3).Базова модель плазмотрона ПУН-1 розроблена на основі принципової

схеми лінійного плазмотрона постійного струму з одиничною металевою МЕВ (рис. 2.5). Технічні характеристики ПУН-1 наведені у табл. 2.5. Плазмотрон ПУН -1 має катодний вузол, уніфікований із серійними плазмотронами для повітряно-плазмового різання і оснащений змінним термохімічним катодом 6, який теж випускається серійно.



1 – штуцер для подавання порошку; 2 – корпус анодного вузла; 3 – електрод (анод); 4 – система подавання порошку в канал; 5 – міжелектродна вставка; 6 – термохімічний катод; 7 – завихрювач газу; 8 – дефлектор; 9- ізолятор

Рисунок 2.5 – Плазмотрон ПУН-1 до установки «Київ -7» [11]

Охолодження катодного вузла і вузла МЕВ у розпилювача послідовне. Анодний вузол має незалежну систему охолодження із збільшеним перерізом водяних каналів.

Використовується вихрове подавання плазмо утворюючого газу через систему аксиально-тангенційних каналів [11].

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики плазмотрона ПУН-1 [11]

№	Параметр	Значення
1.	Потужність плазмотрона, КВт	$\leq 80$ КВт
2.	Робочий струм, А	160...315
3.	Робочий газ	Повітря, суміш стиснутого повітря з вуглеводневими газами (природний газ, пропан, бутан та ін.)
4.	Витрата плазмоутворюючого газу, м <sup>3</sup> /год, Повітря Природного газу	3,9 - 12 0,1 - 2
5.	Робочий тиск газу, МПа, Повітря Природного газу	0,5...0,6 0,2...0,3
6.	Витрата охолоджуючої води, м <sup>3</sup> /год	0,8
7.	КВМ, не менше	0,7
8.	Габаритні розміри	75×150×250

### 2.3 Методи дослідження властивостей покриттів

*Методи дослідження плазмових покриттів методами металографічних, рентгенофазовими мікрорентгеноспектрального аналізами*

Для проведення металографічного дослідження напилених зразків досліджуваних матеріалів виготовляли шліфи, включаючи такі операції.

- шліфування зразків на шліфувальному верстаті підвищеної точності 3Е158 на шліфувальних шкурках зернистістю М20, М10, М7 мкм і М5 мкм ;

- шліфування на папері з алмазної синтетичної пастою різної зернистості;

- полірування зразків на верстаті «Metasineх» на сукні з алмазною пастою.

Для визначення пористості досліджували нетравлених шліфи зразків покриттів. Кількість пор визначали за методом січних [52]. Мікроструктуру напилених шарів, кордон розділу метал – покриття досліджували на металографічному мікроскопі «Neophot- 21» при різних збільшеннях:  $\times 200$ ,  $\times 500$ .

Мікрорентгеноспектрального аналіз проводили на приладі «Jeol» з застосуванням програмного пакету SKAN для кількісного аналізу. Досліджували концентраційне розподіл елементів в покритті і в граничній області. Діаметр електронного зонда становив 1 мкм. Еталонами служили хімічно чисті елементи. Брали до уваги поправки на поглинання, атомний номер і флюоресценцію. Відносна помилка кількісного визначення елементів не перевищувала 3%, що було підтверджено дослідженнями зразків відомих складів. Мікродюрометричне дослідження складових покриття фаз проводили на приладі ПМТ-3 з навантаженням 50 і 100 г.

#### *Випробування покриттів на зносостійкість в умовах абразивного тертя*

У практиці досліджень широко застосовується метод випробування матеріалів при терті їх про закріплення абразивні частинки. В даній роботі випробування покриттів на зносостійкість в умовах абразивного зносу проводили за відомою [53, 60] методикою на машині тертя Х4-Б. Особливості цього методу полягають в наступному:

- 1) шлях тертя зразка про абразивну поверхню і прикладена тиск точно відомі і залишаються постійними в процесі всіх дослідів;
- 2) існує можливість встановити вплив властивостей зношуваного матеріалу на його зносостійкість;

3) цим методом можна виявити вплив матеріалу абразиву на зносостійкість плазмових покриттів.

Як зношувальні поверхні застосовували абразивні шкурки з карбіду кремнію і електрокорунду нормального. Для кожного випробування шкурку оновлювали.

За результат випробувань брали відносну зносостійкість, величину якої розраховували за формулою:

$$\varepsilon = \frac{G_{\text{эт.}} \cdot \rho_{\text{обр.}}}{G_{\text{обр.}} \cdot \rho_{\text{эт.}}},$$

де:  $G_{\text{эт.}}$ ,  $G_{\text{зра.}}$  – зношення еталону та зразка відповідно, г;

$\rho_{\text{эт.}}$ ,  $\rho_{\text{зра.}}$  - щільність еталона і зразка відповідно, г/см<sup>3</sup>

Як еталон використовували ст.50, загартовану до твердості 52 -54 HRC.

Основні характеристики абразивних матеріалів наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики абразивних матеріалів

Вид абразиву	Грануляція, мкм	Твердість абразиву, МПа
Карбід кремнію	50-63	$3.2 \cdot 10^4$
Електрокорунд	50-63	$2,2 \cdot 10^4$

Тиск в зоні контакту 1,075 МПа, шлях тертя 15 м; діаметр зразка 5мм.

#### *Визначення міцності покриттів зі сталеву основою*

Адгезійну міцність покриттів оцінювали по штифтової методикою (Схема 1.3.2 [56]) при відриві покриття від підкладки через спеціальний елемент у вигляді конічного штифта. При розрахунку міцності зчеплення розраховується площа, відповідна межі поділу (не враховується когезійна частина). Далі береться відношення зусилля, витраченого на адгезійний розрив, до площі адгезійного розриву.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Технологічний процес нанесення плазмового покриття

Перед нанесенням покриття потрібно попередньо обробити поверхню деталі. Попередня підготовка поверхні деталей перед нанесенням покриттів необхідна для того, щоб забезпечити міцне зчеплення покриття з основним металом. На деталях завжди є різні забруднення - жирові речовини, мастила, масла, окалина, іржа, продукти корозії, оксидні плівки та ін. Ці забруднення повинні бути ретельно видалені, так як вони перешкоджають міцному зчепленню покриття з основним металом.

Більшість дефектів покриттів пов'язано з поганою якістю підготовки поверхні перед напиленням.

При нанесенні всіх без винятку покриттів і перед травленням, нагріванням деталі, струйноабразивної обробкою поверхню деталі знежирюють органічними розчинниками (тетрахлоретилен, трихлоретилен і ін.), миючими засобами, лужними розчинами і різними емульсіями по ГОСТ 9.025-74.

Після знежирення проводять промивання водою, яка відповідає за вмісту солей ГОСТ 2874-73. Знежирення тільки тоді вважається достатнім, коли вода утримується на поверхні металу тонким безперервним шаром. Нижче зображена схема технологічного процесу.

Таблиця 3.1 – Схема технологічного процесу

Отримання матеріалу покриття	Підготовка деталі
Перевірка фазового складу порошку $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$ (трансмісійний дефрактометр Study P)	Знежирення напругі 10 хвилин вручну, промивка водою, обдування стисненим повітрям
Приготування механічної суміші дисперсністю менше за 10 мкм	Дробоструменева обробка протягом 23 хв, під кутом $30^\circ$ – $90^\circ$ до поверхні напиляемой деталі, на відстані 150 - 250 мм
Сушіння механічної суміші в сушильній шафі при температурі $300^\circ\text{C}$ , протягом 1 години	Обдування стисненим повітрям, тиск 6 - 8 атм. (Компресор)
Змішування компонентів	Підготовка матеріалу підшару - порошок марки ПН85Ю15М: перевірка фазового складу, сушіння в сушильній шафі при температурі $300^\circ\text{C}$ , протягом 1 години
Протирання маси через сито з розміром вічка 2 x 2 мм	Підключення дозатора з матеріалом покриття
Розсіювання і виділення фракції 40 - 63 мкм (Вібросито)	напилення підшару



Сушка отриманих гранул в сушильній шафі при температурі 300 °С, протягом 1 години	Підключення дозатора з матеріалом покриття
Розмелювання в атритори протягом 5 - 7 хвилин	
Розсівання і виділення фракції 40 - 63 мкм (Вібросито)	
Напилення матеріалу покриття Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> - SiO <sub>2</sub> : дистанція напилення - 120 мм	
Охолодження в стандартних умовах	
Механічна обробка - шліфування на верстаті підвищеної точності 3E158 (швидкість обертання кола - 25 - 50 м/с, обертання деталі - 23–35 м/с. Шліфування проводиться при достаньому охолодженні)	
Контроль товщини покриття (штангенциркуль)	

Сушку деталей після промивання проводять в сушильній шафі при температурі 60 - 150 ° С або обдуванням стисненим повітрям.

Для видалення оксидів (до них відносяться окалина, іржа і оксидні плівки) використовується абразивне очищення - механічна (піскоструминна або дробоструменева) і хімічне очищення (травлення). Слід пам'ятати, що абразивне очищення може застосовуватися тільки до матеріалів, товщина яких складає більше 3 мм. При менших товщинах використовують травлення. Травлення є видалення забруднень, оксидів і

іржі шляхом застосування травильних розчинів на основі сірчаної, соляної, фосфорної, азотної кислот. Розчини містять інгібітори, які уповільнюють розчинення вже очищених ділянок поверхні. Хімічне очищення відрізняється більшою продуктивністю і простотою застосування, ніж абразивний, проте після неї необхідно промивати поверхню від розчинів, що викликає необхідність застосування додаткових очисних споруд. На заключній стадії підготовки поверхні проводиться промивка та сушка, після чого поверхню готова для нанесення порошкового покриття.

Абразивоструйна підготовка поверхні перед нанесенням на неї захисного покриття є однією з найбільш важливих операцій, що забезпечують необхідну міцність зчеплення покриттів з основним металом. Міцність зчеплення більшою мірою визначається механічним закріпленням частинок покриття з шорсткою поверхнею і, частково, фізико-хімічними взаємодією частинок з підкладкою. Збільшення сил механічної зв'язку зазвичай забезпечується створенням шорсткості, для чого використовуються різні види механічної обробки.

#### Підготовка порошоків перед напиленням

Порошок зберігаються в негерметичних упаковках, тому на частинках адсорбується волога, що призводить до істотного погіршення текучості і зниження продуктивності процесу напилення через налипання частинок в транспортуючих порошок комунікаціях.

Сушку порошку проводять в сушильній шафі або в печі при температурі 120 - 150 ° С протягом 2 годин на чистих листах з нержавіючої сталі. Товщина шару порошку при сушці не повинна перевищувати 20 мм.

#### Нанесення захисного покриття

Захисні покриття наносять на поверхню нових (процес зміцнення) або зношених (процес відновлення) деталей з метою підвищення їх експлуатаційної стійкості. Процес складається з двох стадій: спочатку напилюють підшарок, потім - основний шар. Проміжний шар з адгезійного-активного матеріалу утворює міцний зв'язок як з матеріалом виробу, так і з

матеріалом покриття. При напиленні покриттів, що мають велику різницю коефіцієнтів термічного і лінійного розширення (к.т.л.р) і при роботі деталі в умовах змінних температур також необхідно напилення проміжного шару з к.т.л.р., проміжним між к.т.л.р. стали і матеріалу покриття [56, 51].

Матеріал проміжного шару вибирається залежно від матеріалів деталі і покриття, умов експлуатації деталі. Товщина його складає 0,05- 0,20 мм. Далі напилюють матеріал основного шару покриття.

#### Контроль якості напиленого шару

Контроль якості виробів з покриттями включає в себе зовнішній огляд і замірювання товщини. Для виявлення прихованих дефектів (внутрішніх тріщин, відшарувань) використовують методи неруйнівного контролю, наприклад, ультразвукову дефектоскопію. Товщину покриття вимірюють штангенциркулем (ГОСТ 166-80). Міцність зчеплення покриттів з основним металом (ГОСТ 9.302-79), твердість (ГОСТ 9013-59), пористість, відносну зносостійкість (ГОСТ 17367-71) оцінюють на зразках-свідках.

#### Обробка нанесеного покриття

Відпуск захисного шару проводяться з метою зниження надмірної твердості і крихкості, підвищення в'язкості і пластичності, поліпшення оброблюваності. Відпалу піддають покриття для отримання рівномірної структури, зняття залишкових напруг, поліпшення оброблюваності.

Механічну обробку здійснюють в разі отримання точних розмірів і необхідної шорсткості поверхні.

Висновок даній частині роботи зводиться до наступного: обґрунтований вибір деталі - штока бурового насоса для зміцнення захисним покриттям, матеріалу покриття, технології нанесення покриття, обладнання. В якості плазмового генератора обраний плазмотрон ПУН-1, що дозволяє напилюють керамічні порошки з меншими енергетичними затратами в порівнянні з наявними аналогами. Запропоновано технологічну схему процесу стосовно до обраної деталі; представлено опис стадій

технологічного процесу. В ході роботи були використані нові режимні умови формування покриттів, які дозволили поліпшити властивості напилених шарів і підвищити продуктивність процесу напилення.

### 3.2 Властивості отриманих покриттів

В якості вихідного порошку для напилення використовували оксидну кераміку на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  з добавками  $\text{SiO}_2$  [34-37]. Матеріалом підшару був обраний  $\text{Ni}$  -  $\text{Al}$ . Перед нанесенням покриттів поверхню зразків ретельно знежирюють і піддавали дробоструменевій обробці. Потім наносили підшарок з  $\text{Ni}$  -  $\text{Al}$  товщиною 40 - 50 мкм і далі - основний шар товщиною 1 мм і 5 мм

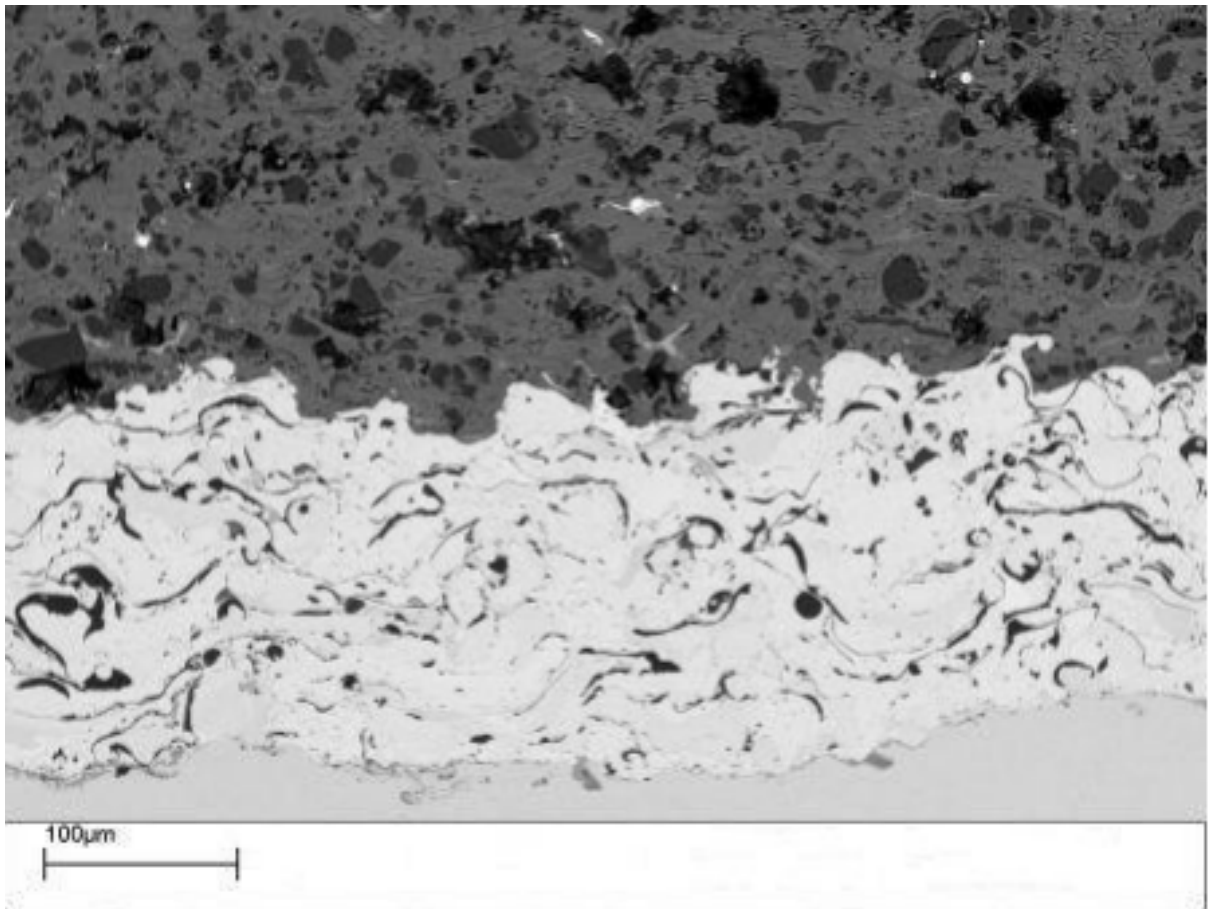
Металографічні дослідження показали, що покриття характеризуються гетерогенною структурою з рівномірним розподілом включень сферичної, овальної і неправильної форми різного розміру в матеріалі матриці (рисунки 3.1, 3.2). З рисунків 3.1 і 3.2 слід, що структура керамічного покриття складається не тільки з численних мікрошарів, як це має місце при формуванні покриттів, що складаються з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$ , а являє собою композиційний шар, в якому майже відсутні пори і в матричному матеріалі, і на його кордонах з включеннями і підкладкою. Пористість покриття становить менше 1%, що свідчить про високий його якість. Тут слід привести для порівняння відомості по пористості покриттів з корунду ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) - 10 - 15% і з оксидною композиції  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  - 6 - 10%.

Результати мікрорентгеноспектрального і мікродюрOMETричних методів аналізу свідчать про те, що керамічне покриття має матрицю наступного складу (в мас.%):  $\text{TiO}_2$  - 30;  $\text{SiO}_2$  - 12;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 58 з мікротвердістю 779 - 1100 кг/мм<sup>2</sup>. У матричному матеріалі присутні включення, які за складом можна об'єднати в такі групи:

1) на основі діоксиду кремнію (темні включення) з мікротвердістю 677 - 1006 кг / мм<sup>2</sup>;

2) з близьким змістом діоксиду кремнію і оксиду алюмінію (сірі шари), що мають мікротвердість 752 - 1072 кг/мм<sup>2</sup>.

На рисунку 3.3 представлено розподіл елементів по поперечному перетину зразка при переході від сталевій підкладки до вільної поверхні напиляного шару. З рисунку 3.3 випливає, що включення в матеріалі матриці розподілені досить рівномірно.



Рисинок. 3.1 Мікроструктура двошарового покриття: підшар Ni - Al, основний шар - оксидна кераміка

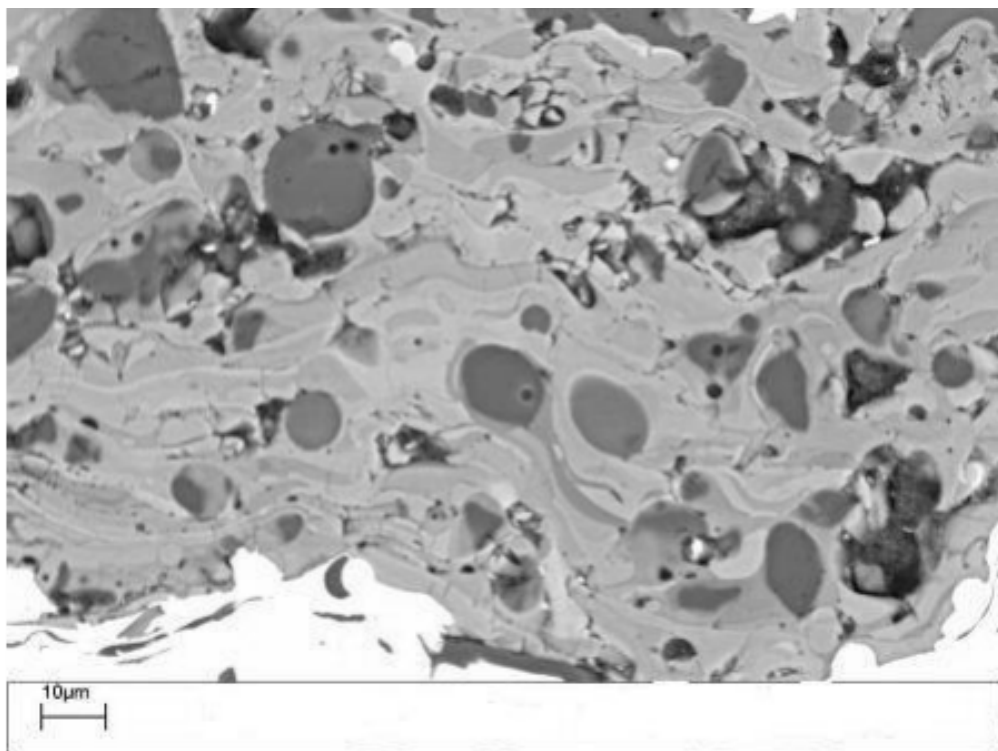
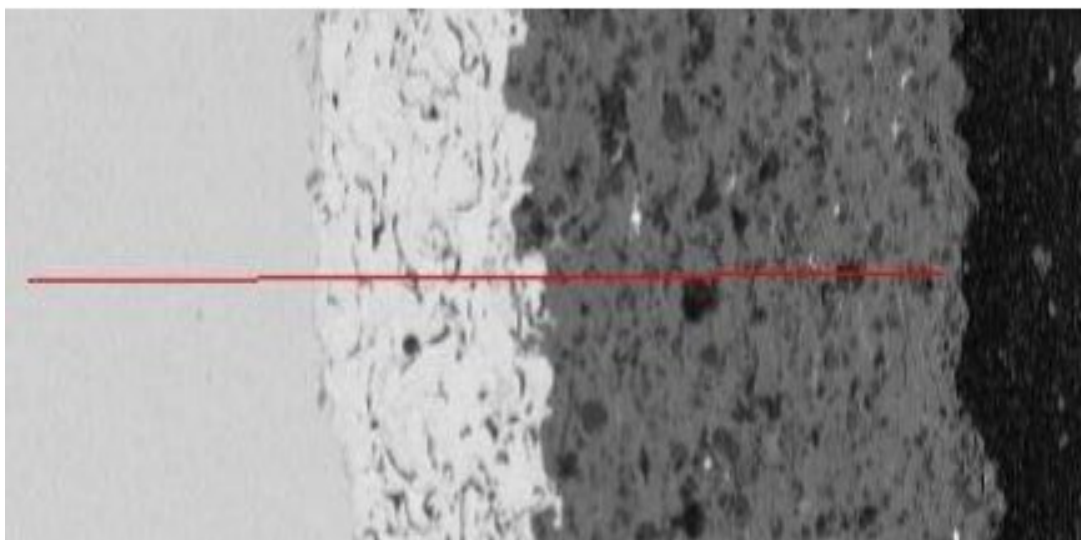
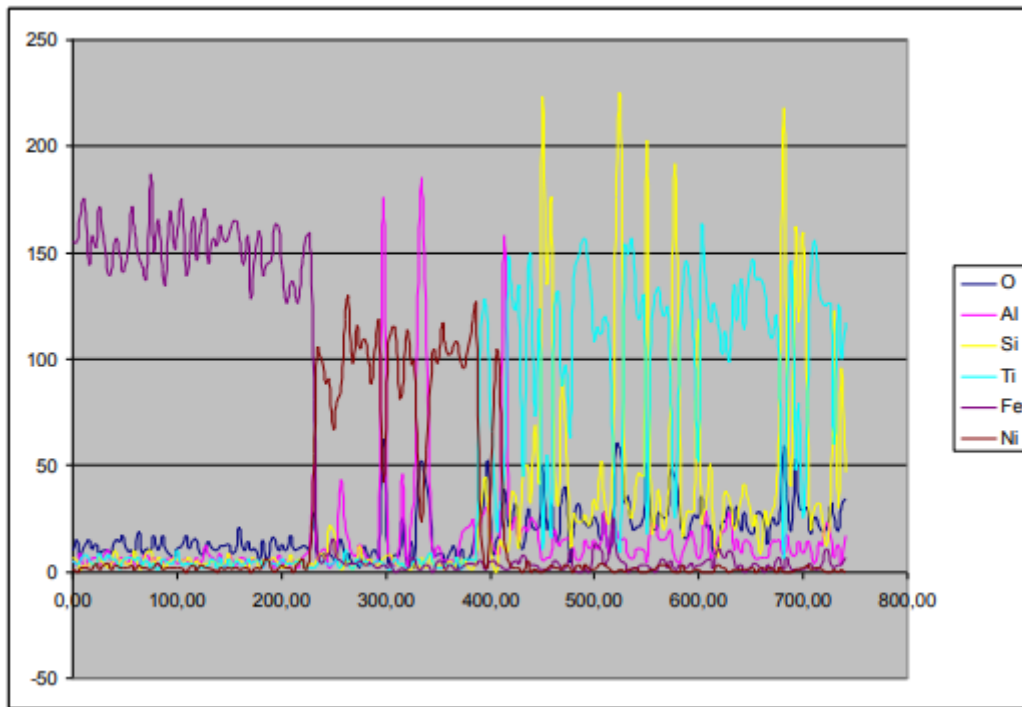


Рисунок. 3.2 Мікроструктура основного шару покриття



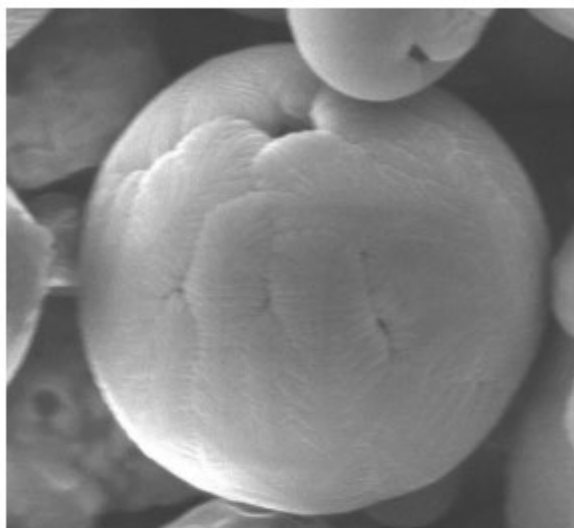
а) - сталеві підкладка, підшар і основний шар покриття



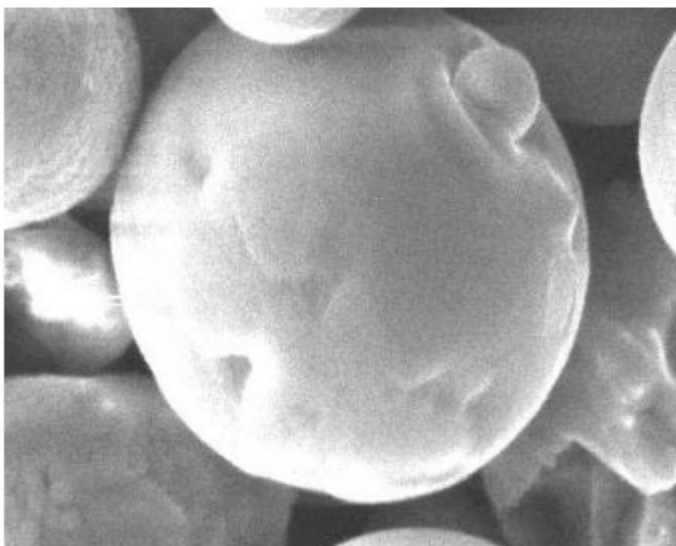
б) - сканограмма розподілу елементів

Рисунок.3.3 Розподіл елементів вздовж лінії сканування в сталевій підкладці, підщарку та в основному шарі покриття

Звертає на себе увагу наступна особливість мікроструктури досліджуваних покриттів: незважаючи на близькі розмір вихідних мікрокомполітів, використовуваних для напилення, темні включення характеризуються різним розміром (від 0,5 до 16 мкм). Отриманий результат можна пояснити ефектом імпульсного розподілу плазмових сферидів, встановленим раніше і описаним в роботі [61], сутність якого полягає в періодичному виштовхуванні базової часткою, яка пройшла стадію сферіодизації, більш дрібних сфероїдів зі свого обсягу за рахунок конвективного руху розплавленої маси. При цьому на одному полюсі базової частки утворюється воронка, а на протилежному полюсі з'являється дочірній сфероїд (рисунок. 3.4).



а



б

Рисунок. 3.4 Створення воронки (а) і дочірнього сфероїда (б)

Це лежить в основі інтенсивного подрібнення сфероїдезованих в плазмовому потоці частинок. На рисунку 3.5 показані приклади лавиноподібного формування дочірніх сфероїдів в процесі сфероїдизації частинок оксидної кераміки при різних режимних параметрах.



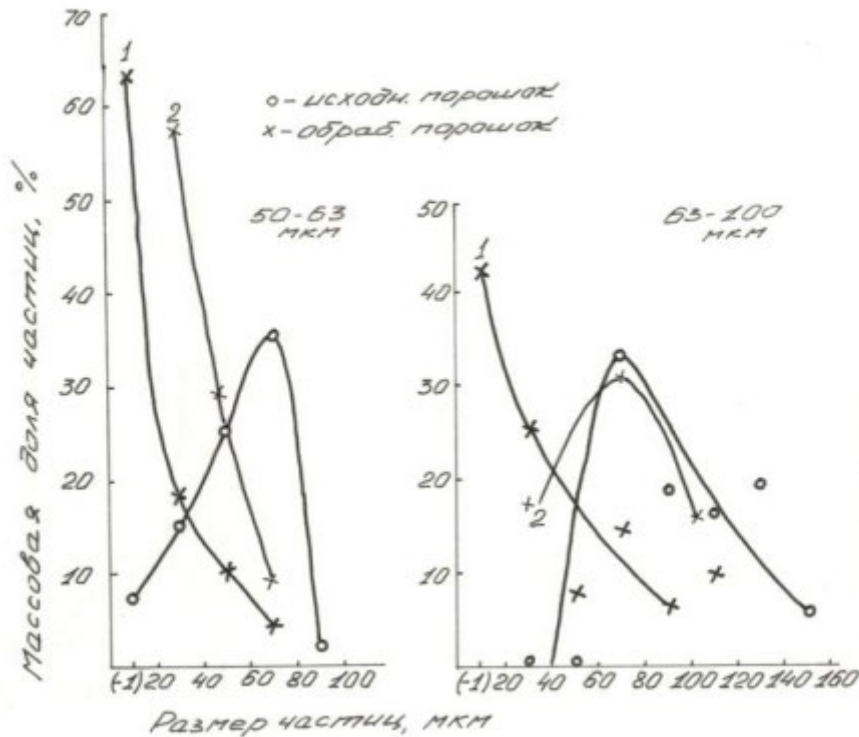


Рисунок 3.5 – Подрібнення частинок оксидної кераміки в процесі обробки їх в плазмовому потоці при різних параметрах (1-Q1, 2- Q2;  $Q1 > Q2$ )

Керамічні покриття випробували в умовах сухого абразивного тертя, зносостійкості відносно еталона (сталь 50, загартована до твердості HRC - 52 - 54) становить 2,6. Міцність зчеплення з відомою для керамічних покриттів штифтовою методикою визначити не вдалося: відбувалося руйнування покриттів. Тому для оцінки якості кордону розділу покриття зі сталлю використовували фрезу, якою розрізали зразки з покриттями товщиною 5мм, шари при цьому не сколювалися по межі поділу. Таким чином, можна стверджувати, що адгезійна міцність покриттів з оксидної кераміки достатньо велика. Характеристики керамічного покриття представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Характеристики покриття «оксидна кераміка»

Характеристика	Значення
Мікротвердість складу покриття фаз: 1. На основі діоксиду кремнію 2. З близьким змістом діоксиду кремнію і оксиду алюмінію	677 - 1006 кг / мм <sup>2</sup> 52 – 1072 кг / мм <sup>2</sup>
Пористість	менше 1%
Відносна зносостійкість	2,6
Адгезія	При різанні фрезой не сколюється

В ході досліджень виявлено новий ефект зміцнення керамічних мікрокомполитов в процесі їх напилення, що позитивно вплинуло на властивості покриттів. Сутність цього ефекту полягає в наступному: в плазмовому потоці частки порошку інтенсивно нагріваються в високотемпературній зоні; азот і вуглекислий (плазмоутворюючий газ) присутній в плазмі в іонізованому стані і легко взаємодіє з активною поверхнею частинок, що постійно оновлюється конвекційними потоками. При цьому формуються оксинітрид типу  $Ti_xO_yN_z$ . Таким чином, створюються умови для протікання дифузійних процесів. У покритті формується безперервний ряд твердих розчинів Ti-O-N. Різний склад оксинітридних фаз і велике їх кількість обумовлюють підвищення мікротвердості, з одного боку, за рахунок складу напилюваних частинок, а, з іншого боку, за рахунок численних міжзернових кордонів.

Недоліки відомого способу: недостатньо високі коефіцієнт використання порошку і зносостійкість покриттів.

Використання певних параметрів процесу напилення, складу плазмоутворюючого газу, складів матеріалів підкладки і напилюваного порошку дозволило отримати покриття, що характеризуються високими фізико-механічними (мікротвердість підвищена в 1,13 - 1,6 рази в

порівнянні з прототипом) і експлуатаційними (стійкість покриттів в умовах одночасного впливу абразивного зношування і корозійного середовища підвищена в 1,5 -2,0 рази) властивостями і підвищити продуктивність процесу напилення на 13%.

В результаті порівняльного аналізу отриманих результатів і виявлених аналогів встановлено, що запропоноване технічне рішення дозволяє істотно підвищити властивості напилених керамічних шарів і продуктивність процесу напилення.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета розділу - рішення і огляд таких питань:

- надання безпечних і зорових умов проведення праці;
- забезпечення безпечної роботи робочого устаткування;
- пожежна безпека на виробництві;
- забезпечення відсутності травматичності на робочому місці;
- забезпечення нешкідливих умов праці.

### 4.1 Аналіз шкідливих та небезпечний факторів

При плазмовому нанесенні покриття мають місце наступні небезпечні та шкідливі фактори:

Високий рівень напруги на робочому устаткуванні;

Пожежонебезпеки;

Вибухонебезпека;

Високий рівень шуму, та вібрації;

Високий рівень запиленості.

Основними причинами враження електричним струмом є контакт з струмопровідними частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі.

Джерелом можливого враження електричним струмом є технологічне обладнання, до якого підключена напруга 1500В (в режимі очищення) та 300В (в режимі нанесення покриття) постійного струму, та електрообладнання, напруга якого 380В змінного струму.

Попереднє знежирення обладнання передбачає використання бензину, ацетону та спирту.

Вочевидь, що в повітрі робочої зони будуть присутні шкідливі пари цих речовин, які викликають алергічні захворювання в виробничих умовах. Гранично допустимі концентрації: бензину 100 мг/м<sup>3</sup>, ацетону 200 мг/м<sup>3</sup>, спирту 1000 мг/м<sup>3</sup>.

4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки технологічного процесу та запобігання дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Для попередження дії токсичної речовини передбачені:

Окреме приміщення для приготування розчинів та робіт з токсичними речовинами, яке обладнане загальною та місцевою витяжною, вентиляцією;

Місцева витяжна вентиляція на робочих місцях від вакуумної камери та витяжної шафи. Швидкість повітря в робочому перерізі місцевої вентиляції повинна бути не менша 0,6 м/с;

Очищення видаленого вентиляцією повітря, що забруднене шкідливими речовинами, для цього вентиляція оснащується фільтром для очищення повітря від пилу;

Світлову та звукову сигналізацію, яка сповіщає про припинення роботи вентиляції;

Індивідуальні засоби захисту (респіратор фільтруючий універсальний Сталкер-2 VITA).

Для попередження дії шуму та вібрації передбачено використання активних трубчастих глушителів абсорбційного типу для облицювання звукопоглинаючими матеріалами внутрішньої поверхні повітропроводів (мінераловатні щити,  $\alpha = 0,89$  при  $f = 1100$  Гц,  $\delta = 32$  мм для глушіння шуму високих частот);

Для попередження враження електричним струмом:

Захист ізоляції зовнішньої електропроводки від механічних та термічних пошкоджень;

Установка ізоляційних огорожень, захисних кожухів. Прилади для відключення живлення у шафі керування та автоматичні вимикачі;

Надійне заземлення всіх струмоведучих частин обладнання, які мають бути під напругою;

Опір між пристроєм заземлення і будь-якою металічною частиною установки, крім конструктивно ізольованих елементів, не більше 0,1 Ом;

Опір ізоляції між джерелом плазми та корпусом камери 1МОм.

#### 4.2.1. Мікроклімат

Мікрокліматичні показники, швидкості руху повітря в робочій зоні або в зоні обслуговування та на постійних робочих місцях, встановлені відповідним нормами.

Оптимальними (комфортно) мікрокліматичними умови вважаються такі умови, при яких має місце найвища працездатність робітників та хороше самопочуття. Допустимі умови передбачають можливість напруженої роботи механізму терморегуляції, які не виходять за межі можливості організму, а також дискомфортні відчуття.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати нормам:

Допустимі норми повітря всередині виробничих приміщень для теплого періоду року обов'язкові для всіх параметрів (середня температура о 13 год. найбільш теплого місяця) не перевищує  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Параметри мікроклімату (ДСН 3.3.6.042-99) [24] в таблиці 4.1 Незалежності від мікрокліматичних умов у робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовини не повинен перевищувати ГДК.

Для поліпшення температурних параметрів, потрібно встановити ребристі батареї, не менше восьми секцій на одну.

Таблиця 4.1 - Параметри мікроклімату на робочому місці

Період	Категорія	Виробничий	Параметри		ІЧ випромінювання	Рівень
			Фактичні	Допустимі		

			W, °C	W, %	V, м/с	T, °C	W, %	V, м/с	Джерело випромінювання	Відстань від джерела, м.	Випромінювання, Вт/м².	Норма	
Холодний	П6	210	18	77	0,8	15-21	75	0,4	Дуга	0,4	45	140	Система вентиляції 1-місцевий відсмоктувач від камери

#### 4.2.2.Вентиляція

Для плазмового напilenня застосовуються місцева витяжна вентиляція. Вона дає змогу вловлювати шкідливі речовини безпосередньо у місцях їх виділення. Пристрої місцевої витяжної вентиляції поділяють на відсмоктувачі відкритого та закритого типу.

В нашому випадку застосовуємо місцеву витяжну вентиляцію закритого типу у вигляді вентиляючої камери, в якій проводиться операція напilenня при якій інтенсивно виділяються шкідливі речовини. Параметри роботи відсмоктувача наведені в таблиці 4.3

#### 4.2.3.Освітлення

Освітлення повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 [26]. Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темний період доби. Від того, наскільки кваліфіковано воно спроектоване залежить безпека праці та самопочуття працівників, продуктивність їхньої праці та якість продукції. Відомо, що раціонально виконане штучне освітлення приміщень при одній і тій же витраті електроенергії підвищує продуктивність праці на 20—25%. Разом з тим неправильно вибране та недостатнє освітлення робочих місць може бути причиною функціональних зорових порушень у працівників.

З метою оптимізації виробничого освітлення передбачають:

- запобігання потрапляння прямих променів світла в око робітнику;
- очищення світильників, вікон від забруднень один раз на 2 місяці;
- фарбування стін титановими або цинковими білилами з високим коефіцієнтами відбивання для видимого світла за низьким коефіцієнтом для ультрафіолетових променів.

На нашому робочому місці створюються суміщене освітлення (штучне та природне - одnobічне бокове).

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики люмінісцентної лампи ЛД 100

Потужність, Вт.	Напруга мережі на лампі, В.	Світловий потік номінальне, лм.	Колірна температура, К
100	220	2340	4000

#### 4.2.4.Шум, вібрація

Джерелами шуму на ділянці, що аналізується, є плазмовий розпилувач, джерело живлення, вентилятори, транспортно-технологічні пристрої та технологічних процесів. За часовою характеристикою шум є постійний (рівень звуку за 3 години роботи установки 71 дБ. Отже виробничий шум перевищує припустимий, тому проводиться захист. Для захисту від шуму передбачаємо використання активних трубчастих глушителів абсорбційного типу для облицювання звукопоглинаючим матеріалами (ЗПМ) внутрішню поверхню захисної камери  $\alpha = 0,89$  при  $f = 1026$  Гц,  $\delta = 81$  мм для глушіння шуму НЧ,  $\delta$  — 33 мм для шуму ВЧ. Для захисту від вібрації передбачаємо: віброізоляцію обладнання (віброізолюючі опори, тощо). Пасивна віброізоляція (віброізолювана підлога, підставки на робочих місцях). В результаті цих заходів рівень вібрації L знижується на 42% .

Таблиця 4.3. Результати виміру шуму та вібрації (ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99)



Місце заміру	Додаткові відомості: умови заміру; тривалість впливу	Характер шуму		Вид вібрації	Рівні звукового тиску, дБ			Рівень звуку, дБ	Допустиме значення
		За спектром	За часовим характером						
		Широко-полосний	постійний		16	31,5	63		
Нанесення вакуумно-конденс. покриття у витяжній камері	3 години в зміну	X	X					68	80
нанесення вакуумно-конденс. покриття у витяжній камері	3 години в зміну			X	884	884	884	84	96,2

Умови праці згідно 3-ого класу III-го ступеня. Вплив електромагнітних полів Джерелами електромагнітних полів є – зварювальний генератор трансформатор, струмовідводи, пристрої автоматики. Вони належать до вузлових груп антропогенних джерел електромагнітного випромінювання. Для захисту від ЕМП (ДСН 3.3.6.096 2002) [24] застосовуємо екранування джерел випромінювання екранами з металевих листів; або сіток у вигляді замкнених камер, шаф або кожухів.

Значення напруженості електричного поля  $E = 0,86 \text{ кВт/м}^2$  та магнітної  $H = 105 \text{ А/м}$ , поля не виходять за межі гранично допустимих  $E \leq 1 \text{ кВт/м}^2$ ,  $H = 1402 \text{ А/м.}$ , на частоті 50 Гц.

#### 4.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

##### 4.3.1. Пожежна безпека

Згідно з НАПББ.03.002-2007 [28] приміщення з точки зору вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому стані, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор, полум'я, горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

У приміщенні виділяється (ДНАОП 0.00-1.21-98) [29] зона П-Па, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за БЕМЗ (безпечний

експериментальний максимальний зазор між фланцями оболонки, мм ПА ( $>0,9$  мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання/ ( $T_1/ T \text{ C/V} >450 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Ступінь вогнестійкості будівлі - I (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції) мінімально припустиме обмеження вогнестійкості — 2,6 год, максимально припустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін. Категорія захисту від блискавки - I/СН 305-77/, від прямих ударів використовують блискавководи стержньові.

Пожежна безпека забезпечується:

- \* запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок високого рівня електричного захисту;

- \* запобіганням утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин; застосуванням пожежної сигналізації з датчиком (ІДФ-І, ДПД і ін.); Застосовуємо вогнегасники типу УО, ОП-ІОА (вибрати тип і кількість відповідно до НАПБ Б.03.002-2007) [30].

Передбачається також аварійне стравлювання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежобезпечні технічні миючі засоби.

Передбачені пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі.

Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

#### 4.3.2.Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на на деревинний настил, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник та використати вогнегасник для тушіння пожежі.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

## 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (з появою Інтернету як інструменту

комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 15% до 25%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

Розділ магістерських дисертацій «Розроблення стартап-проекту» присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії. Розділ є завершальною частиною магістерської дисертації і виконується у вигляді оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій магістранта.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

#### 5.1.Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (табл. 5.1.) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміцнення штоку бурового насоса плазмовим напиленням	Нафтовидобувна промисловість	1.Подовження ресурсу роботи бурового штоку є більш економічно вигідно.
	Газовидобувна промисловість	
	Забезпечувати нормальне охолодження долота при бурильних роботах	2.Отримання більш зносостійкого шару.

#### 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведення аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 5.2):

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ n/n	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Зміцнення штоку бурового насосу плазмовим напиленням	Детонаційне нанесення покриття	Технологія наявна	Недоступна
		Плазмове напилення	Технологія наявна	Доступна
		Електроіскрове	Технологія наявна, ,потрібна доробка	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: За результатами аналізу таблиці ми прийшли до висновку, що ідея проекту зміцнення штоків бурових насосів можлива в технічному плані, тому тому вибираємо технологію плазмового зміцнення.				

### 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ n/n	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності поведінці різних потенційних	Вимоги споживачів до товару
----------	-----------------------------	---	--	-----------------------------------

			цільових клієнтів	груп
	Зміцнення штоків	Нафто- та газо-видобувні компанії	Різність стандартів, технічних регламентів	1.Покриття повинно забезпечити високу зносостійкість. 2. Тощинна покриття повинна бути не менше 4мкм.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.4) на основі виділених ринкових загроз та можливостей. Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- збільшення ресурсу роботи бурового штоку;</li> <li>- перешкоджання руйнування штоку в агресивному середовищі;</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- висока конкуренція на ринку;</li> <li>- відсутність досвіду виробництва;</li> <li>- маловідомість нашого виробництва;</li> </ul>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- перешкоджає утворенню наросту на кромці інструменту;</li> <li>- зниження тертя інструменту;</li> <li>- зниження вібрації;</li> <li>- зміцнення включеннями сферичної та овальної форми розміром від 0,5 до 16 мкм;</li> </ul>	
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- розширення географії продажів товарів</li> <li>- можливість використання маркетингу в соціальних мережах</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зниження доходів частини клієнтів</li> <li>- поява інших конкурентів на внутрішніх ринках</li> </ul>

Висновок: проект зміцнення штоків бурових насосів плазмовим напиленням має можливість ринкової комерціалізації, аналізуючи ринок можна побачити, що є попит на дану продукцію, гарна динаміка росту ринку. Перспективи виходу на ринок є, тому що в даний час наш проект має високу конкурентоспроможність. Доцільне подальше впровадження даного проекту.



## ВИСНОВКИ

У данному дипломному проєкті був розглянутий метод плазмового нанесення оксидну кераміку на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  з добавками  $\text{SiO}_2$  на шток бурового насосу для отримання зностійкого покриття. Були виявлені основні види спрацьовування деталі: абразивне зношування та робота в агресивному середовищі.

Серед розглянутих матеріалів та їх порівняння було виявлено що  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$  з добавками  $\text{SiO}_2$  має найстійкіше покриття для бурового насосу.

Для нанесення зносостійкого покриття була обрана установка плазменого напилення Київ-7. Данна установка забезпечує якісне формування покриття

Характеристикою отриманого покриття є рівномірний розподіл включень сферичної, овальної і неправильної форми різного розміру в матеріалі матриці що забезпечує високі значення твердості, пористість менше 1%, підвищення зносостійкості більше більше ніж в два рази.

### Список літератури

1. Ronald W., Novak R. Advances and applications thermal spray technology. Technology and materials //Powder met. Int., 1991, № 3. P. 147 - 155.
2. Hao R.L. Thermal Spray Technology and its Applications in the iron & Steel Industry in China //ASM International, 2007, P. 291 - 296.
3. Breitsameter M.J. JP - 5000, the HVOF of the 21st century //4th HVOF Colloquium at Erding. – Munchen. – 1997 y. P. – 119 - 125.
4. Поварова К.Б., Банных О.А., Казанская Н.К. и др. Жаропрочные композиты с металлической или интерметаллидной матрицей, упрочненные частицами или волокнами оксидов, боридов, карбидов. //Металлы, 2002, №1. С. 52 - 71.
5. Метелкин И.И., Макаркин А.Я., Павлова М.А. Сварка керамических материалов с металлами //Сварочное производство, 1967, № 6. С. 13 - 19.
6. Карпинос Д.М., Борисенко А.Н., Листовичная и др. Стеклокерамические покрытия для волокон, применяемых при конструировании армированных волокнистых материалов. Неорганические и органосиликатные покрытия. Л.: Наука – 1975 г. С. – 265 - 273.
7. Караказов Э.С., Котелкин А.С., Матвеев Г.М. и др. О механизме образования соединения при сварке в твердом состоянии керамики из окиси алюминия с ниоб-лем // Физика и химия обработки материалов, 1968, № 3. С. 123 - 129.
8. Тимошенко С.П., Прокопьев Е.П., Дьяченко С.А. Синтез мелкодисперсных порошков в высокочастотной плазме //Физика и химия обработки материалов, 2002, № 5. С.25 - 32.
9. Сивков А.А., Ильин А.П., Громов А.М., Бычин Н.В. Сверхглубинное проникание вещества высокоскоростного плазменного потока в металлическую преграду //Физика и химия обработки материалов, 2003, № 1. С. 42 - 48.

10. Патель Д.П., Сака Н. Микроплазменная технология нанесения алюминиевых покрытий //Металловедение и термическая обработка металлов, 2001, № 7. С.27 -29.

11. Нестеренко В.П., Арефьев В.П., Кондратюк А.А. Электрическая прочность полиоксидных структур, сформированных на поверхности композиционных материалов при нагревании после предварительной лазерной обработки //Физика и химия обработки материалов, 2002, № 5. С. 9 - 13.

12. Пучков Ю.А., Ананьев В.А., Ларкин В.А., Березина С.Л. Структура и свойства аморфных и нанокристаллических хромоуглеродистых покрытий //Металловедение и термическая обработка металлов, 1998, № 10. С.7 - 9.

13. Болдохин Ю.В., Вавилова В.В., Ковнеристый Ю.К. и др. Образование на-нокристаллов в системе Fe-P-Si-Mn //ДАН, 2000, Т. 374. № 5. С. 637 - 639.

14. Дураченко А.М., Скворцова И.Б., Белова Н.В. и др. Влияние мезофазных состояний на электрохимические свойства аморфизирующихся сплавов на основе железа //Защита металлов, 2000, Т. 36. № 4. С. 361 - 365.

15. Борисов Ю.С, Коржик В.Н., Куницкий Ю.А. и др. Структурные превращения в газотермических покрытиях из сплава Ni60Nb40 при вакуумных отжигах //Порошковая металлургия, 1986, № 10. С. 39 - 45.

16. Зубехин А.П., Лазарева Е.А., Капелюжная Н.П. Ситалловая стекломатрица для жаростойких покрытий на основе отходов //Стекло и керамика, 2001, № 10. С. 29 - 30.

17. Малышева А.Ю., Белецкий Б.Н., Власова Е.Б. Структура и свойства композиционных материалов медицинского назначения //Стекло и керамика, 2001, № 2. С. 28 - 31.

18. Каграманов Г.Г., Назаров В.В. Керамические мембраны с селективными слоями на основе SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и ZrO<sub>2</sub> //Стекло и керамика, 2001, № 5. С. 12 - 13.

19. Сорокин В.А., Тарасенко Ю.П., Патрикеев С.В. и др. Кинетика реакций и изменение состава при нагреве некоторых порошковых материалов

и композиций для плазменных теплозащитных покрытий //Порошковая металлургия, 1994, № 5/6. С. 45 - 49.

20. Лаврова Г.В., Миловзорова С.В., Плюто И.В. и др. Порошки системы  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\gamma\text{TiO}_2$  для плазменного напыления //Порошковая металлургия, 1993, № 1. С. 57 -60.

21. Disam J., Sicinger A., Wilms V. The effect of the chamber and spraying parameters of the LPPS method on the structure of mullite coatings //Thermal Spray Research and Application. USA -1990 y. P. – 533 - 538.

22. Tobe S., Kodama S., Misama H., Rolling fatigue behavior of plasma sprayed coating on aluminium alloy //Thermal Spray Research and Application. USA – 1990 y. P. – 171 - 177.

23. Akira O., Kyeung C.P., Yashiaki A. Photoelectrochemical properties of plasma sprayed  $\text{TiO}_2$  coatings //Thermal spray Research and application. USA, - 1990 y. P. – 509 - 515.

24. Lonza W. Spray powder for thermal coating/ //Powder Mat.Int, 1991, V. 23. № 6. P. 382

25. Masafumi Y., Akihiro U., Tetsuo Y. Laser thermal spraying //Thermal spray Research and Application. USA – 1990 y. P. – 485 - 490.

26. Морель СТ., Морель СЛ. Применение керамических покрытий для защиты элементов конструкций тепловых установок //Автоматическая сварка, 1992, № 3. С. 48 - 52.

27. Powlowski L. Applications and properties of thermally sprayed oxide ceramics //Powder Mat. Int, 1991, V. 23. № 6. P. 357 - 362.

28. Koboyashi A., Yamahuji K., Kitamura T. Effect of heat ment on high haralness zirconia sprayed coating by means of gas tunnel type plasma spraying //Trans. YWRS, 1991, V. 20. № 1. P. 47 - 52.

29. Goa W.L.L. Nano  $\text{ZrO}_2$  ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) particles processing by heating of ethanolaquons salt solutions //Ceramics Int., 2001, № 27. P. 543 - 545.

30. Демиденко Л.М. Высокоогнеупорные композиционные покрытия // Л.М. Демиденко. - М.: Металлургия, 1979. - 216 с.

31.Иванов Ю.Ф., Пагуль А.В., Конева Н.А. и др. Электронномикроскопический анализ нанокристаллических материалов //Физика металлов и материаловедение, 1991, № 7. С. 206 - 208.

32. Matejka D., Benko B., Bielek J., Orevsko M. Sucinitee tepelnej vodivosti plaz-movo stiekanij vratvy z ceakoslovenskeho prasku ZrSiCV //Kovove mater., 1984, № 1. V. 22. P. 121 - 127.

33. Руденская Н.А. Швейкин Г.П., Копысов В.А. и др. Износостойкое покрытие с аморфно-кристаллической структурой //Пленки и покрытия. Сборник трудов 6 Международной конференции. - С-Петербург – 2001 г. С. – 371 - 373.

34. Руденская Н.А., Жилияев В.А., Швейкин Г.П. и др. Новый класс материалов - градиентно-слоевые композиты //Доклады академии наук, 2000, Т. 374. № 5. С. 651 - 653.

35. Патент РБ № 7776 Руденская Н.А., Швейкин Г.П., Копысов В.А. Способ получения износостойкого покрытия. 2005.10.27.

36. Патент РБ № 8252 Руденская Н.А., Копысов В.А., Пантелеенко Е.Ф. Способ получения композиционного порошка. 2006.06.30.

37. Патент РБ № 9772. Руденская Н.А., Гулецкий В.А., Алексеев Ю.А. Способ получения сфероидизированных полидисперсных керамических порошков. 2007. 28.06.

38. Гибкие шнуровые материалы для газопламенного напыления и наплавки. Люберцы: Техникорд. Рекламный проспект. 2002. – 13 с.

39. Отчет о НИР по теме № 231-81 Исследование и разработка технологии плазменного напыления применительно к номенклатуре деталей выпускаемых заводом машин. № гос. регистрации 810/0113, Свердловск, 1985. - 96 с.

40. Фролов В.Я., Кархин В.А., Иванов Д.И., Чуркин И.С. //СПб Научно-технические Ведомости: Изд-во Политехн. ун-та. 2005. № 1(95), с. 135-137.

41. Фролов В.Я., Дегтярев М.А., Лисицын П.Г., Юшин Б.А. //СПб Научно-технические Ведомости: Изд-во Политехн. ун-та. 2008. № 8.

42. Техника и технологии нанесения покрытий: учеб. пособие / Фролов В.Я., Клубникин В.С., Петров Г.К. и др. СПбГПУ. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 386 с.
43. Фролов В.Я, Юшин Б.А., Чуркин И.С. // Металлообработка, 2009, №1(49), с. 20-23.
44. Фролов В.Я., Дубов М.В., Юшин Б.А. СПб Научно-технические Ведомости: Изд-во Политехн. ун-та. 2009. № 2(78), с. 125-129.
45. Электротехнологические промышленные установки: учеб. пособие / Под редакцией Фролова В.Я. СПбГПУ. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 572 с.
46. Физические основы применения низкотемпературной плазмы: учеб. пособие / Фролов В.Я., Лисенков А.А., Барченко В.Т. СПбГПУ. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 221 с.
47. Низкотемпературная плазма. Высокоэнергетические процессы обработки материалов /Под ред. Жукова М.Ф., Фомина В.М. -Новосибирск: Наука, 2000. Т.18. - 425 с.
48. Кузьмин В.И., Руденская Н.А., Соколова Н.В. и др. Высокоплотные плазменные керамические покрытия //Температуροустойчивые функциональные покрытия: Труды Всероссийского Совещания. — СПбПетербург. — 2012 г. С. — 70 - 72.
49. Rudenskaya N., Sobolev S. Novoselov A. Plazma ceramic spray coating with amorphous-cristal structure. Ministry of Knowledge Economy. KITECH. Seul. Korea. 2008. P. 229 - 235.
50. Kuzmin V.I., Mikhalchenko A.A., Kovalev O.B., E.V. Technique of Formation of an Axisymmetric Heterogeneous Flow During ThermalSpraying of Powder Materials //Journal of Thermal Spray Technology, 2012, V. 21(1). P.159 - 168.
51. Кудинов В.В. Плазменные покрытия / Кудинов В.В. - М.: Наука, 1977. -184 с.

52. Салтыков С.А. Сиереометрическая металлография /Салтыков С.А. – М.: Металлургия, 1970. - 375 с.
53. Хрущев М.М. Износостойкость и структура твердых наплавов / Хрущев М.М. – М.: Машиностроение, 1971. - 272.
54. Петров С.В., Карп И.Н. Плазменное газозодушное напыление / Петров С.В., Карп И.Н. – Киев: Наукова Думка, 1993. - 493 с.
55. Яковлев Г.М., Королько А.А., Ивашко В.С. Влияние шероховатости поверхности на качество напыляемого слоя //Машиностроение и приборостроение. – Минск: Высшая школа – 1976 г. С. – 37 - 39.
56. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. и др. Газотермические покрытия из порошковых материалов /Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. и др. Киев.: Наукова Думка, 1987. - 544 с.
57. Основы математического моделирования плазмотронов : учеб. пособие / С. В. Дресвин, Д. В. Иванов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004-2006.
58. Франк-Каменецкий Д.А. Плазма - четвертое состояние вещества. [Djv-ZIP] Издание 3. (М.: Атомиздат, 1968. - Научно-популярная библиотека Атомиздата)
59. Васильев Р.А., Гонопольский А.М , Скидин Е.И. Обобщение характеристик аппаратуры для плазменного напыления //Аппаратура и технология газотермических покрытий и резки. Труды ВНИИАвтогенмаш. – М. – 1982 г. С. – 10 - 13.
60. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов / Хрущев М.М., Бабичев М.А. – М.: АН СССР, 1960. – 351 с.
61. Руденская Н.А., Швейкин Г.П., Соколова Н.В., Руденская М.В. Импульсное деление плазменных сфероидов //Доклады академии наук, 2009. Т. 429. № 1. С. 76-78
62. Учебно-методическое пособие по экономическому обоснованию курсовых работ и дипломных проектов /Горнаков Э. И., Василевич В. И. – Минск, 2003. – 60 с.

63. Романов А. З. Зарубежные буровые насосы и сменные детали их гидравлической части: обзорная инф. Сер. ХМ-3 Нефтепромысловое машиностроение / А. З. Романов, И. Б. Малкин, И. Е. Рудавский. – М.: ЦИНТИ и ТЭИ по химическому и нефтяному машиностроению, 1985. – 44 с.

64. Surfaces Piston rod [Електронний Ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ostroj.cz>

65. Piston rods – a suitable case for [Електронний Ресурс]. – Режим доступу: <http://www.engineeringtalk.com>.

66. 4. Забезпечення експлуатаційних показників деталей бурового обладнання механоультразвуковим зміцнюючим обробленням / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким, Ю. В. Павловський // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – 2013. – Вип. 1,2 (46). – С. 309 – 314.

67. Righman R. H. and Mc Naughton W.P. Correlation of cavitation erosion behavior with mechanical properties of metals / R. H. Righman // Wear. –1990. – №140. – p.63-82.

68. Study on mechanism of combined action of abrasion and cavitation erosion on some engineering steels / Z.Kang, G.Chenqing, S.Fusan, L. Bingzhe // Wear. – 1993. – №162-164.– PP. 811-819.



# Додатки